



RAPORTTEJA 195

KUIVATUS KUNTOON PELTOLOHKO KERRALLAAN

TUOMAS J. MATTILA, JUKKA RAJALA, HEIKKI AJOSENPÄÄ JA RITVA MYNTTINEN



KUIVATUS KUNTOON PELTOLOHKO KERRALLAAN

TUOMAS J. MATTILA, JUKKA RAJALA, HEIKKI AJOSENPÄÄ JA RITVA MYNTTINEN



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin



Elinkeino-, liikenne- ja
ympäristökeskus



2019

**OSMO - Osaamista ja työkaluja resurssitehokkaaseen maan kasvukunnon hoitoon yhteistyöllä
-hanketta rahoittavat** Varsinais-Suomen ELY-keskus / Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelma
2014-2020 / Vesiensuojelun ja ravinteiden kierrätyksen erillisrahoitus, yritykset, viljelijät ja säätiöt.

Julkaisija	Helsingin yliopisto Ruralia-instituutti www.helsinki.fi/fi/ruralia-instituutti	
	Kampusranta 9 C 60320 SEINÄJOKI	Lönnrotinkatu 7 50100 MIKKELI
Sarja	Raportteja 195	
Kansikuva	Erkki Vihonen	
ISBN	978-951-51-3778-4 (pdf)	
ISSN	1796-0630 (pdf)	

ESIPUHE

Maatalouden tärkeimmät resurssit ovat viljelijän osaaminen ja peltomaan kasvukunto. Maan kasvukunto vaikuttaa ratkaisevasti saavutettuihin satotasoihin ja edelleen käytettävien tuotantopanosten hyötysuhteisiin, viljelyn kannattavuuteen ja ympäristövaikutuksiin. Peltomaa on monimutkainen järjestelmä, jonka kokonaisvaltainen hallinta vaatii uudenlaista osaamista sekä uusia työkaluja ja käytäntöjä. Viljelijöitä askarruttaa monen lohkon kohdalla, miksi tällä loholla sato jää huomattavasti pienemmäksi kuin muilla lohkoilla.

Nyt julkaistava raportti *Kuivatus kuntoon peltolohko kerrallaan* on tuotettu osana OSMO - Osaamista ja työkaluja resurssitehokkaaseen maan kasvukunnon hoitoon yhteistyöllä-hanketta. Tässä raportissa tarkastellaan pellon kuivatustilan selvittämistä ja kuivatuksen suunnittelua ja toteuttamista ja lisäksi kuvataan OSMO-koelohkoilla vuosien 2016-2018 välillä tehtyjä havaintoja pellon kuivatustilan vaikutuksista maan kasvukuntoon sekä eri peltolohkojen kuivatuksen parantamisen vaihtoehtoja. Useilla OSMO-hankkeen koelohkoista löytyi puutteita kuivatuksesta. Nyt julkaistavaan raporttiin on koottu keskeiset havainnot peltolohkojen kuivatuksesta, sekä käytännön ohjeita kuivatustilanteen kartoittamiseen ja korjaamiseen.

Pellon kuivatuksen tutkimuksella ja tutkimustulosten jalkauttamisessa käytäntöön on Suomessa pitkät perinteet. Esimerkiksi yksi alan ensimmäisistä oppikirjoista alkoi juhlavasti:

”Maan kuivatuksen’ pyrkimyksenä on palvella kehittyneempiä maanviljelijöitä, pien-, keski- ja suurviljelijöitä, jotka itsenäisesti joutuvat suorittamaan maanparannukseen kuuluvia töitä. Kirja pyrkii siten avustamaan itseopiskelussa niitä maanviljelijöitä, jotka tällä alalla haluavat tietojansa kartuttaa. Myöskin soveltunee kirja teknillisessä korkeakoulussa ja yliopistossa opiskelevien käytettäväksi – Pyrkimys tutustua maankuivatuksen erikoistehtävien perusteihin näyttää meilläkin, kuten muissakin maissa, olevan verraten paljon levinnyt kehittyneemmän maatalousväestön ja yleisiä asioita harrastavien kansalaisten keskuuteen.”

Prof. A.I. Hallakorpi, 1932. ”Maatalouden vesirakennus” -kirjan esipuhe.

Tämän OSMO-raportin tarkoituksena on koota yhteen käytännön ohjeita ojajärjestelmän huollosta sekä kansainvälisiä menetelmiä maan vedenläpäisykyvyn ja kuivatusedellytysten tarkasteluun. Toivomme *Kuivatus kuntoon peltolohko kerrallaan* -raportin palvelevan suomalaisia viljelijöitä maan kasvukunnon parantamisessa.

OSMO - Osaamista ja työkaluja resurssitehokkaaseen maan kasvukunnon hoitoon yhteistyöllä-hanketta toteuttavat Helsingin yliopiston Ruralia-instituutti, ProAgria Etelä-Pohjanmaa ja ProAgria Länsi-Suomi. Hanketta rahoittavat Varsinais-Suomen ELY-keskus Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelmasta 2014–2020 Vesiensuojelun ja ravinteiden kierrätyksen erillisrahoituksella, Eurofins Viljavuuspalvelu Oy, Soilfood Oy, Tyynelän Maanparannus Oy, Ecolan Oy, viljelijät sekä Luomusäätiö ja Rikalan Säätiö. Kiitämme rahoittajia tämän työn mahdollistamisesta.

Kiitämme Heikki Koskimiestä ja Rainer Rosendahlia käsikirjoituksen kommentoinnista ja Farm Works Oy:tä salaojien huuhteluista. Kiitämme OSMO-tilakokeen viljelijöitä koelohkojen antamisesta tutkimuksen käyttöön ja koelohkojen viljelytöiden suorittamisesta ja tutkimustulosten saamisesta. Erityiskiitokset Owen Fentonille ja Patrick Tuohylle Irlannin Teagasc -maatalousinstituutista vedenläpäisyn arviointikurssin järjestämisestä. Raportin taitosta ja ulkoasusta kiitämme graafinen suunnittelija Jaana Huhtalaa.

Mikkelissä toukokuussa 2019

Tekijät

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	7
ABSTRACT	9
1 JOHDANTO	11
2 KUIVATUKSEN HAVAINNOINTIKEINOJA	15
2.1 Lapiokuoppatesti	15
2.2 Laskuaukosta tuleva vesimäärä	20
2.3 Ilmakuvat	21
2.3.1 Ilmakuvien ja salaojakarttojen yhdistäminen	21
2.3.2 Esimerkki: Löytyykö pelloiltasi kattohuopaa?	23
3 KUIVATUKSEN PERUSASIAT	24
3.1 Riittävä kuivavara – valtaojan perkuutarve	24
3.2 Laskuaukot toimivat kunnolla	24
3.3 Ulkopuoliset vedet ohjataan pellon ohi niskaojalla	26
4 SALAOJIEN TOIMINTAHÄIRIÖIDEN TUNNISTAMINEN JA KORJAUS	28
4.1 Yleisimmät ongelmakohdat	28
4.2 Karttapohjainen tarkastelu	28
4.3 Tukosten paikannus	28
4.4 Putken paikkaus	29
5 PINTAVESIEN OHJAILU	32
5.1 Pintavesien välttäminen: maan tiivistymisen ehkäisy	32
5.2 Pinnanmuotoilu	33
5.3 Vesivaot	36
5.4 Muokkaussuunta	36
5.5 Esimerkki pintavesien hallinnan vaikutuksista lohkon kuivatuksen	36
6 MAAPROFIILIN VEDENLÄPÄISYKYYN ARVIOINTI	39
6.1 Ojavälin riippuvuus maan vedenläpäisykyvystä	39
6.2 Kaivurikuoppamenetelmä	40
7 LOHKOKOHTAISIA ESIMERKKEJÄ KUIVATUKSEN HUOLLOSTA	45
7.1 Koelohko Hy: savimaa	45
7.1.1 Lohkon tausta ja lähtötilanne	45
7.1.2 Toimenpiteitä kuivatustilan selvittämiseksi	47
7.1.3 Miten lohkon kuivatus kuntoon?	48
7.2 Koelohko Ju: savimaa	49
7.2.1 Lohkon tausta ja lähtötilanne	49
7.2.2 Toimenpiteitä kuivaustilan selvittämiseksi	51
7.2.3 Miten lohkon kuivatus kuntoon?	53
7.3 Koelohko He: savimaa	54
7.3.1 Lohkon tausta ja lähtötilanne	54
7.3.2 Toimenpiteitä lohkon kuivatustilan selvittämiseksi	54
7.3.3 Miten lohkon kuivatus kuntoon?	57
7.4 Koelohko Pa: hietamaa	57
7.4.1 Lohkon tausta ja lähtötilanne	57
7.4.2 Toimenpiteitä lohkon kuivatustilan selvittämiseksi	58
7.4.3 Miten lohkon kuivatus kuntoon?	61
8 YHTEENVETO	63
9 KIRJALLISUUSLUETTELO	64

TIIVISTELMÄ

Kasvulle haitallisten ylimääräisten vesien poisto on edellytys maan kasvukunnon kehittämiseksi. Maan kuivatusta on tutkittu ja sovellettu käytäntöön Suomessa jo vuosisadan ajan. Siitä huolimatta useilla peltolohkoilla on kuivatusongelmia, mitkä ilmenevät veden pinnan nousuna ruokamultakerrokseen. Kuivatustilanteen korjaaminen on systemaattinen prosessi, joka lähtee pellon nykytilanteen havainnoinnista ja jatkuu mahdollisten ongelmakohtien läpikäymisellä nykyisessä kuivatusjärjestelmässä. Tässä raportissa käydään läpi erilaisia havainnointikeinoja ja esitetään ohjeita kuivatusongelmien korjaamiseen lohkokatasolla. Kuivatuksen kunnos-

tus on ryhmitelty yleisemmästä yksittäisempään: ensin esitellään kuivatuksen perusedellytykset, sen jälkeen siirrytään salaojien toimintahäiriöiden tunnistamiseen, pintavesien ohjailuun ja maaprofiilin vedenläpäisykyvyn arviointiin. Käytettävissä menetelmissä yhdistetään hyviä käytäntöjä Suomesta ja kansainvälisesti sekä vuosikymmeniä vanhoja menetelmiä ja uusia kaukokartoitusmenetelmiä. Lopuksi esitellään kuivatustilanteen kartoituksen tuloksia neljältä OSMO-hankkeen koelohkolta.

Avainsanat: salaojitus, maan kasvukunto, maan rakenne, kuivatus, pellon kunnostus

ABSTRACT

GOOD DRAINAGE – FIELD BY FIELD

Removal of excess water is a key criterion for developing good soil health. A waterlogged soil is oxygen deprived and subject to structure degradation. Land drainage has been an active topic for both research and practice in Finland for a century. In spite of progress in drainage design and application, many fields suffer from inadequate drainage, which is present as water tables rising to the topsoil. Improving the drainage situation is a systematic process, which begins with observations of the current drainage status and continues by going through potential problems sites in the existing drainage system. This report presents different ways for observing and diagnosing drainage problems at a field

level. The improvement of drainage is grouped from common problems towards more specific, starting from basic requirements of drainage (outfall, side ditches) and continuing to identification of drainage failures, control of surface runoff, and assessment of soil water permeability. The presented methods are a combination of old good practices and new remote sensing methods. Finally four case studies are presented from OSMO project intensively monitored fields.

Keywords: drainage, site specific analysis, soil health, visual soil assessment

1 JOHDANTO

Maan kuivatuksen alkuperäinen määritelmä oli hyvin laaja ja viljelijälähtöinen: ”Maan kuivatuksella tarkoitetaan haitallisen veden poistamista maasta joko maan maataloudellisen tai muun käytön helpottamiseksi taikka sanotun käytön mahdolliseksi tekemistä varten” (Hallakorpi 1932). Haitallisen veden poistamista voidaan ajatella veden pinnan pitämisenä tasolla, jossa kasvit kasvavat hyvin (Oosterbaan 1994). Kuivatusta ajatellaan usein synonyyminä salaojitukselle, sillä salaojitus on yleisin menetelmä kuivatuksen tehostamiseen. Tässä raportissa kuivatusta tarkastellaan kuitenkin laajemmin, pellon vesitalouden hallintana ja haitallisen ylimääräisen veden poistamisena. Tarkastelukohteena on yksittäinen lohko ja lohkon sisäinen vaihtelu.

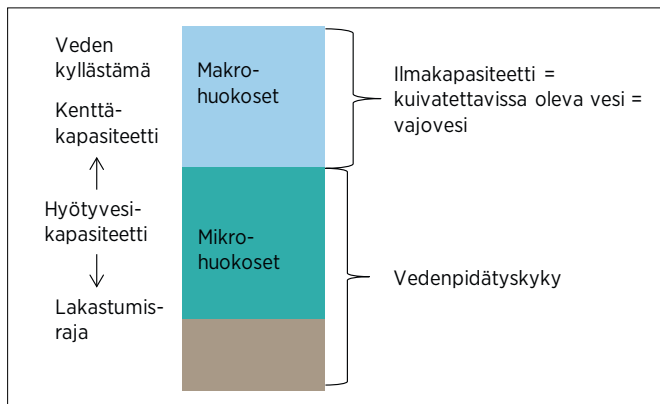
Ennen paneutumista kuivatukseen on syytä tarkastella maaperää ja veden olomuotoja maassa (Kuva 1). Maa koostuu kiviaineesta, eloperäisestä aineesta ja näiden välissä olevasta huokosverkostosta (Weil ja Brady 2016). Hyvä rakenteisessa maassa on noin 50 % huokosia, joita pitkin vesi ja kaasut pääsevät kulkemaan maaprofiilissa (Hartge ja Horn 2016). Hyvä huokosjakauma on myös tasainen, joten maassa on sekä suuria, että pieniä huokosia sekä maamurujen välissä, että murujen sisällä. Huonorakenteisessa maassa suuria huokosia on vähän ja niiden välinen jatkuvuus on heikkoa. Veden ja kaasunvaihto on heikentynyt. Suuri osa maaperän biologisesta aktiivisuudesta tapahtuu huokosten pinnoilla, joten huokoisessa maassa on paljon enemmän potentiaalia suuremman pinta-alan takia biologiselle kasvukunnolle kuin tiiviissä maassa.

Maan huokosto vaikuttaa suoraan veden liikkumiseen ja varastoitumiseen maassa. Kun pelto on läpimärkä, sen huokosiin ei mahdu enempää vettä. Lisäsaateet tai sulamisvedet poistuvat pintavalunta. Kun pelto alkaa kuivua, vesi vajoaa maan huokosiin pitkin ja huokokset täyttyvät ilmalla. Kun kaikki vajovesi on poistunut suurista huokosista, vettä on vielä varastoituneena pieniin huokosiin kasvien käytettäväksi (Paasonen-Kivekäs ym. 2009). Tässä vaiheessa pellon sanotaan olevan ”kenttäkapasiteetissa” (*field capacity*) eli siihen on varastoinut maksimimäärä kasveille käyttökelpoista vettä (Hudson 1994). Tässä vaiheessa maa tuntuu kostealta, murustuu kämmenten välissä hierottaessa ja alkaa vähitellen olla kylvökunnossa (Keller 2004).

Kenttäkapasiteettiin kuivunutta peltoa ei voi enää kuivattaa enempää ojituksella vaan loput kuivumisesta tapahtuu haihtumisen kautta. Haihduntaa tapahtuu sekä paljaasta maasta (evaporaatio) että kasvien aktiivisen veden oton kautta (transpiraatio) (Weil ja Brady 2016). Kun vettä poistuu, veden määrä maan pienissä huokosissa vähenee ja maamurut painuvat tiiviimmiksi, mikä lisää maan halkeilua (Hartge ja Horn 2016). Lopulta pellossa oleva vesi on niin tiukasti sitoutunut, että kasvit eivät saa sitä käyttöönsä. Tällöin pellon sanotaan olevan lakastumisrajaan (*wilting point*) saakka kuivunut (Hudson 1994). Lakastumisrajan ja kenttäkapasiteetin välistä eroa kutsutaan hyötyvesikapasiteetiksi (*available water holding capacity, AWC*), sillä se kuvaa vesimäärää, joka peltoon voi varastoitua kasveille käyttökelpoiseen muotoon (Hudson 1994).

Kuivatuksella vaikutetaan lähinnä maan vesivarastojen helpoiten muuttuvaan osioon, eli vajoveeseen. Mitä suurempi maatilavuus on kuivunut kenttäkapasiteettiin, sitä suurempi potentiaali pellolla on varastoida hetkellisiä sateita suuriin huokosiin. Hyvin kuivatetulla pellolla pintavalunta on pienempää ja suurempi osa vedestä varastoituu maahan. Toisaalta kuivatuksella on haittansa: mitä tehokkaampi kuivatus, sitä suurempi osa sadannasta päättyy salaojavaluntana nopeasti vesistöihin (Oosterbaan 1994). Myös ravinnepäästöt ovat yleensä sitä suuremmat, mitä tehokkaampi kuivatus on kyseessä. Kuivatuksen kanssa olisi löydettävä kompromissi, jossa kuivatus on riittävän hyvä kasveille ja pellon kasvukunnolle, mutta ei liiallinen vesistö-päästöjen kannalta. Viljavuusluokkina tavoitteena olisi pyrkiä ”tydyttävä – hyvä” tasolle, ja välttää tarpeetonta ”arveluttavan korkeaa kuivatusta”. (Oosterbaan 1994)

Jotta pelto kuivuisi tasaisesti kylvökuntoon, ylimääräisen veden pitäisi poistua kaikista sen kohdista suunnilleen samaa vauhtia. Toisaalta pellolle ulkopuolelta tulevat vedet pitäisi saada ohjattua pois ja pohjaveden pintaa hallittua. Jos kuivatustila on hyvä, pelto kuivuu tasaisesti kylvökuntoon, ruokamultakerros ei pääse vettymään vaan pysyy happellisena ja pellossa on vesitilaa varastoida hetkellisiä rankkasateita (Oosterbaan 1994). Kun veden pinta ei pääse nousemaan ruokamultakerrokseen, se pysyy ilmapana ja maaperäeliöt eivät tukehdu. Toisaalta hyvin kuivatetussa pellossa maamurut ei-



Kuva 1.
Vettä on varastoituneena maahan eri tavoin. Kuivatuksella vaikutetaan vajoveden poistumiseen.

vät liety ja maan rakenne pysyy hyvänä. Eräänä ohjeena hyvälle kuivatukselle pidetään sitä, että veden pinta (pohja- tai vajovesi) pysyy 30 cm pellon pintaa alempana vuoden kaikkina aikoina (Oosterbaan 1994). Toisaalta kiivaimman kasvun aikaan veden pinnan olisi syytä olla 50-80 cm syvyydessä viljoilla ja 70-120 cm syvyydessä perunalla ja sokerijuurikaalla (Paasonen-Kivekäs ym. 2009). Kolmas tapa määrittää hyvää kuivatusta on laskea päivät, joina vedenpinta on eri korkeuksilla: hyvässä kuivatustilanteessa veden pinta käy ruokamultakerroksessa harvoin ja lyhytaikaisesti (Oosterbaan 1994).

Vaikka hyvä kuivatus on maan kasvukunnon perusta, kuivatustilanne ei suinkaan ole hyvä kaikilla pelloilla Suomessa. OSMO-hankkeen koelohkois-

ta 40 % oli toimintahäiriö salaojituksessa ja 67 % ojitus oli alimitoitettu suhteessa pellon vedenläpäisykykyyn (Taulukko 3). Koelohkot valittiin heikon kasvukunnon perusteella, mutta joukosta pyrittiin sulkemaan pois lohkot, joissa ongelma johtuisi yksinkertaisesti salaojituksen toimimattomuudesta (Mattila ja Rajala 2017). Tähän nähden osuutta voidaan pitää hyvin korkeana.

Huono kuivatustilanne näkyi monina oireina: kasvu reagoi herkästi eri olosuhteisiin, pintavalunta oli runsasta, maan rakenne oli heikkoa, juuristo kasvoi huonosti ja lieroja oli vähän (Mattila ja Rajala 2017). Oireiden korjaus ei kuitenkaan auta niin kauan kuin lohkon perusongelma on ratkaisematta ja pelto vettyy sateisina kausina läpimäräksi.

Taulukko 1. Pellon vesitalouden "viljavuusluokkia".

	Huono	Välttävä	Tyydyttävä	Hyvä
Pohjaveden pinta	Ruokamultakerros vettyy yli 2 kertaa vuodessa	Käy ruokamultakerroksessa 1-2 päivää vuodessa	Ei nouse koskaan 35 cm lähemmäs pellon pintaa	Ei nouse koskaan 60 cm lähemmäs pellon pintaa
Veden läpäisy	Rankkasateen jälkeen useita päiviä vettä näkyvissä	Lätäköt pellolla katoavat alle vuorokaudessa	Lätäköt pellolla katoavat muutamassa tunnissa sateen jälkeen	Rankkasateet eivät nosta veden pintaa pellolla
Veden imeytyminen	Pintaan kaadettu vesi virtaa sivusuuntaan yli 50 cm	Pintaan kaadettu vesi virtaa alle 50 cm	Pintaan kaadettu vesi virtaa alle 20 cm	Pellon pintaan kaadettu vesi imeytyy pienelle alalle ja koko ruokamultakerrokseen
Salaojavalunta	2 mm/vrk	4 mm/vrk	8,6 mm/vrk	15 mm/vrk

Taulukko 2. Pellon vesitalouden termejä

Sadanta	Tietylle alueelle tietyssä aikana pudonnut vesimäärä sateena, lumena ja räntänä (mm)
Valunta	Valuma-alueelta poistuva vesimäärä (mm/vrk), lasketaan sadannan ja haihdunnan erotuksesta.
Pintavalunta	Maan pinnalla kulkeutuva vesi, joka ei imeydy maaperään.
Imeytyminen	Maan kyky imeä vettä sateen yhteydessä (mm/h). Jos hetkellinen sadanta on suurempaa kuin imeytyminen, alkaa pintavalunta.
Salaojavalunta	Salaojien kautta poistuva vesimäärä (mm/vrk). Imeytyneen ja haihtuneen vesimäärän erotus (sekä lisäksi mahdolliset pohjavedet).
Tehollinen sadanta	Se osuus sadannasta, joka imeytyy maaperään ja on kasvien käytettävissä kasvukaudella (mm).
Haihdunta	Haihdunta veden, lumen, jään, kasvien tai maan pinnalta. Sisältää sekä kasvien haihdunnan (<i>transpiraatio</i>) että pinnoilta tapahtuvan haihdunnan (<i>evaporaatio</i>).
Vajovesi	Vajovesi on maan kyllästymättömissä kerroksissa painovoiman vaikutuksesta liikkuvaa vettä. Esimerkiksi hetkellisten rankkasateiden tai lumen sulamisen jälkeen vesi kulkee vajovetenä salaojiin.
Pohjavesi	Pohjavesi on maan vedellä kyllästetyssä kerroksessa olevaa vettä. (Sen yläpuolella voi olla maalajista riippuen kapillaarisen nousun ansiosta lähes kyllästetty alue.)
Vedenläpäisykyky	Ilmaisee miten paljon vettä pystyy imeytymään maan läpi tietyssä ajassa.
Vedenpidätyskyky	Vesimäärä joka jää maahan, kun kaikki vajovesi on poistunut (mm/m).
Hyötyvesikapasiteetti	Vesimäärä, joka on kasveille käyttökelpoista maaperässä. Vedenpidätyskyvyn ja lakastumisrajan välinen erotus.
Kenttäkapasiteetti	Kosteustilanne, jossa maassa oleva vajovesi on poistunut, mutta kasveille käyttökelpoisen veden varasto on suurimmillaan.
Kuivatuskapasiteetti	Vanha termi kuivatettavissa olevalle huokostilalle. Esim. 10 % kuivatettava huokostila tarkoittaa, että 10 mm vesimäärä vastaa 10 cm muutosta pohjaveden korkeudessa.
Putken mitoitusvirtaus	Salaojaputken mitoitusvirtaus (m ³ /h), riippuu putken halkaisijasta ja pituuskaltevuudesta.
Kuivavara	Etäisyys pellon pinnan ja valtaojan vedenpinnan välillä.

Taulukko 3. OSMO hankkeen koelohkoilla havaitut kuivatusongelmat

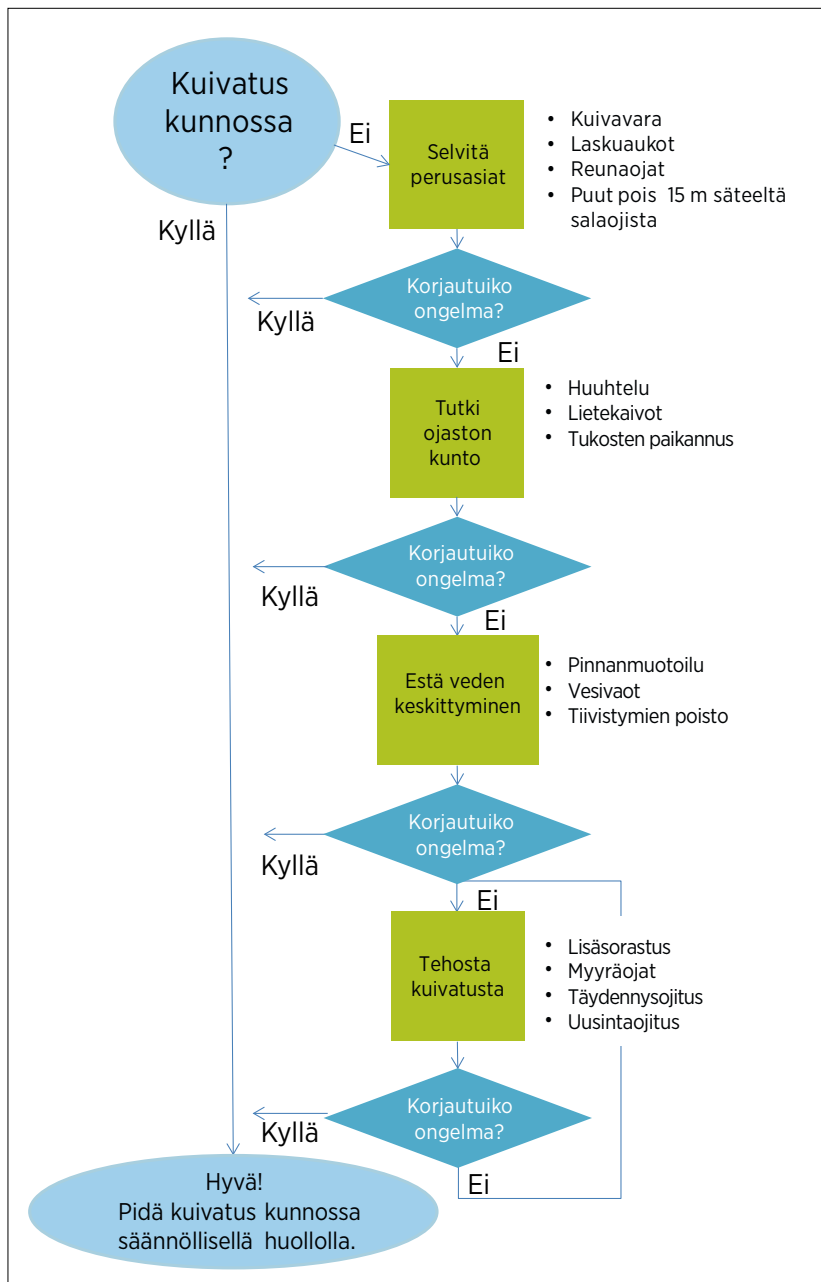
Tila	Laskuaukot	Reunaojat	Tukos	Lietekaivo	Pinnanmuodot	Heikko vedenläpäisy			
						0-5 cm	5-35 cm	35-60 cm	60-150 cm
He	x		?					x	x
Hy ¹	(x)	x			x		x		x
Ju	x		?		x		x		x
Kä						x			
Lu	x					x		x	
Ha ²						(x)	x		
Pa		x		x	x			x	
Sa					x		x		

¹ Hy-koelohkon yläpuolisen lohkon vedet kastelivat alapuolella sijaitsevaa koelohkoa, koska laskuaukko sijaitsi suunnitelmasta poiketen eri paikassa ja oli tukossa.

² Ha-lohkolla ruokamultakerroksen vedenläpäisykyky oli erittäin huono, kun maa oli muokattu hienoksi ja tiivistetty traktorin renkailla. Merkkien selitykset: x= kuivatusongelma esiintyy lohkoilla, (x)= kuivatusongelma esiintyy lohkon viereisellä lohkoilla vaikuttaen tutkimuslohkoon tai tietyissä tilanteissa

Kuivatusongelmat ovat yleisiä, mutta pellon täydennys- tai uusintaajitus on kallista. Kuivatustilannetta voidaan kehittää kuitenkin huomattavasti ilman investointeja lisäojiin. Tässä raportissa esitellään järjestelmällinen menettelytapa pellon kuivatustilanteen kartoittamiseen ja ongelmien korjaamiseen (Kuva 2). Prosessi lähtee perusasioden kartoituksesta (kuivatuksen edellytykset), jatkuu nykyisen salaojaston kunnon kartoitukseen, pintavesien oh-

jailuun ja lopuksi mahdollisen täydennysojituksen suunnitteluun. Teoriatiedon lisäksi tarkastellaan käytännön esimerkkejä OSMO-hankkeen koetilojen lohkoilta. Raportti on tarkoitettu viljelijöiden ja neuvojen käyttöön, joten lähestymistapa on käytännönläheinen. Tiedonjanoisille ja utelaille on lisäksi kirjattu eri kohdissa käytetyt lähdeviitteet, joista löytyy runsaasti lisätietoa.



2 KUIVATUKSEN HAVAINNOINTIKEINOJA

2.1 LAPIOKUOPPATESTI

Tarkemmissa kuivatustutkimuksissa pellon kuivatustilannetta seurataan pohjavesiputkilla, jotka asennetaan maahan noin 1,5 m syvyyteen. Niiden avulla seurataan säännöllisesti, millä korkeudella veden pinta on eri aikoina vuotta.

Käytännön kannalta riittää, että veden pinta ei nouse ruokamultakerrokseen. Tällöin tarkastelua voidaan tehdä helpommin lapiokuoppatestillä. Peltoon kaivetaan noin 40–50 cm syvä kuoppa, joka jätetään auki tarkastelua varten. Syksyllä ja keväällä sekä märkään aikaan kasvukaudella seurataan, millä korkeudella veden pinta on ja tehdään johtopäätöksiä kuivatuksen vaihtelusta pellon eri

osissa (Kuva 3 ja Kuva 5). Koska lapiokuoppatesti on yksinkertainen ja nopea, kuoppia kannattaa kaivaa pellolle useita mahdollisten ongelmakohtien lähetyville. Esimerkiksi lohkon ylälaitaan kaivettu kuoppa viestii niskaojan toimivuudesta (Kuva 6), alavammalle kohdalle kaivettu riittävästä kuivarasta laskuaukkojen lähellä. Eri kohtiin salaojaverkoston kokoojaa kaivetut kuopat kertovat putkikoon riittävydestä ja mahdollisista tukoksista (Nijland, Croon, ja Ritzema 2005). Imuojien lähelle ja puoliväliin kaivetut kuopat kertovat, onko ojaväli riittävä maan läpäisevyyteen nähden (Kuva 4 ja Kuva 5).



Kuva 3. Vasemmanpuoleiseen kuoppaan kertyi heti kaivamisen jälkeen vettä. Märkään aikaan kuopassa pysyy vettä. Kuivatus on riittämätön. Oikeanpuoleinen kuoppa pysyy kuivana ja kuivuu heti runsaiden sateiden jälkeen. Kuivatus on riittävä. Kuvat: Jukka Rajala 19.10.2017.



Kuva 4. Sateisina kausina riittämätön kuivatus on helppo havaita. Vain salaojien kohdilla kuivatus on riittävä suhteessa sadantaan. Maalaji on HtS. Kuva: Jukka Rajala 2.7.2017.



Kuva 5. Salaojien puolivälissä vasemmanpuoleiseen kuoppaan kertyi heti kaivamisen jälkeen vettä. Märkään aikaan vesi pysyy kuopassa. Kuivatus on riittämätön. Salaojan kohdalla oleva oikeanpuoleinen kuoppa pysyy kuivana ja kuivuu heti runsaiden sateiden jälkeen. Kuivatus on riittävä. Maalaji on HHT. Kuvat: Jukka Rajala 26.11.2017.

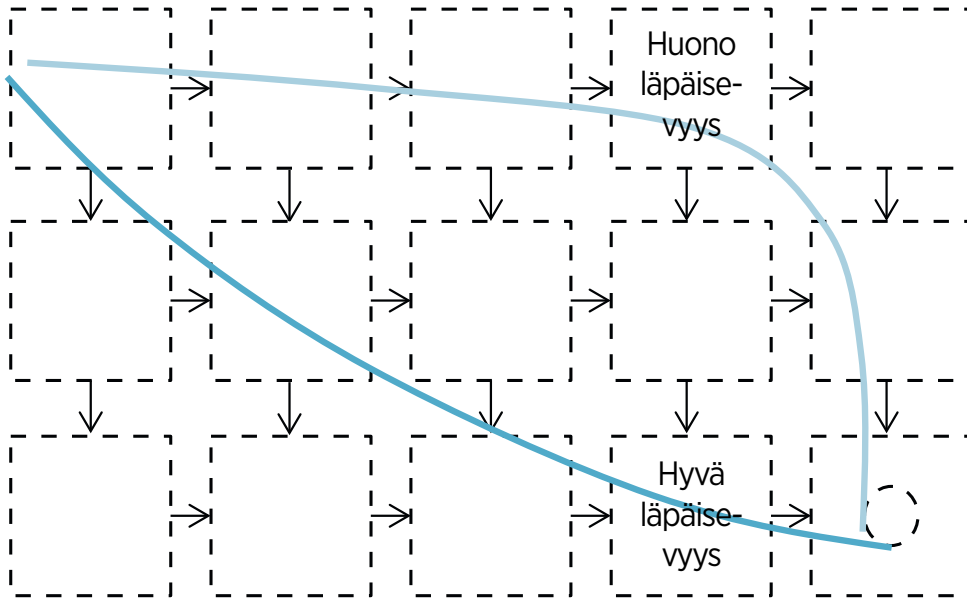


Kuva 6. Pohjaveden valunta pellon ulkopuolelta reunaojaan on helppoa havaita märkään aikaan. Vettä voi valua vain joistakin kohdin (kuva ylhäällä vasemmalla) tai hyvin leveästi (kuva ylhäällä oikealla). Pohjavettä virtaa noin 60 cm syvyyseen kuoppaan lohkon matalasta, perkaamattomasta niskaojasta tasaisella hiesusavimaalla (kuva alhaalla vasemmalla). Rinnemaalla syvän niskaojan ali valuu pohjavettä 30 m päähän pellon laidasta noin 70 cm syvyydessä savisessa hietamaassa (kuva alhaalla oikealla). Tämä aiheuttaa märkyyttä noin 30–50 m päässä rinnepellon ylälaidasta. Kuvat: Jukka Rajala

Lapiokuoppatestin tulkintaan on apua muutamasta kaavakuvasta ja teoreettisesta tarkastelusta (Kuva 7). Maata voi ajatella joukkona toisiinsa kytkettyjä astioita. Kun veden pinta yhdessä astiassa nousee, siitä alkaa virrata vettä viereisiin astioihin. Alaspäin vesi valuu painovoimaisesti, mutta veden pinta pyrkii myös tasaantumaan vierekkäisten astioiden välillä. Mitä suurempi on ero kahden astian veden pinnan tasojen välillä, sitä suurempaa on myös virtaus. Jos pellossa ei ole lainkaan ojitusta, veden pinta asettuu tasolle, joka vastaa valumisnopeutta ja keskimääräistä sadantaa. Veden pinta on pellolla tasaisella korkeudella. Kun peltoon asennetaan salaoja, veden pinta asettuu ojan kohdalla ojan

pohjan tasoon, mutta salaojien välissä vesi on korkeammalla.

Ojan sisällä on periaatteessa sama paine kuin ilmassa, mutta ojan ympärille aiheutuu tätä enemmän painetta yläpuolisista vesistä. Paine-eron johdosta vettä alkaa virrata ojan viereisiltä alueilta ojaan. Kun ojan viereiset alueet kuivuvat, niihin alkaa virrata vettä niiden viereisiltä alueilta ja niin edelleen. Virtausta tapahtuu sekä ojan ylä- että alapuolisessa maassa. Virtauksen suuruus riippuu paine-erosta kahden maayksikön välillä sekä veden virtausvastuksesta (vedenläpäisykyky). Mitä suurempi vedenläpäisykyky, sitä laajemmalle alueelle yksittäisen ojan vaikutus ulottuu.



Kuva 7. Vesi liikkuu salaojiin putken päältä, sivulta ja alta. Mitä loitommias siirrytään putkesta, sitä korkeammalla on veden pinta pellolla.

Kun pellon vesitalouden hahmottaa tällä tapaa, voidaan tunnistaa erilaisia tilanteita:

- veden pinta on ojien välissä noin 0,6 m syvyydessä ja ojien kohdalla noin 1 m syvyydessä: ojitukset toimii normaalisti
- pellon pinnalla on lammikoita, mutta pohjaveden pinta on alhaalla: ruokamultakerros on tiivistynyt
- maaprofilissa on märkä kerros, jonka alapuolella on kuiva kerros: maa on tiivistynyt
- vettä on pellolla paljon ja tasaisesti: putki on tukossa tai putken ympärysaine on liettynyt umpeen
- pelto on kuiva lähinnä ojien kohdalla: salaojakaivannon vedenläpäisykyky on huono
- veden pinta on korkealla ojien puolivälissä: ojaväli on liian suuri tai maan tiiveys estää veden johtumisen ruokamultakerrosta syvemmälle

Jos maassa on tiiviitä kerroksia, vesi kulkee niissä hitaasti. Esimerkiksi jos ruokamultakerroksen alapuolinen alue on tiivis, vesi kulkee salaojiin lähinnä vain ruokamultakerrosta pitkin. Veden pinta on tällöin korkealla kaikkialla pellolla, paitsi välittömästi salaojan lähellä. Toisaalta, jos pellossa on tiivistymä

(esim. kyntöantura), vesi voi seistä anturan päällä, vaikka salaojat olisivat kuivat.

Joissain tilanteissa pelto on märin salaojien kohdalla, jolloin on syytä epäillä tukkeutumista (Kuva 8). Suomessa salaojat mitoitetaan tiettyyn valuntaan, joka kuvaa vesimäärää, joka on kuivatettava, jotta kevään sulamisvedet ja rankat sateet eivät nosta veden pintaa pellolla. Mitoitusvaluntana on käytetty 8,6 mm/vrk. Jos pelto on hyvärakenteinen (50 % huokosia, 10–25 % ilmahuokosia), veden pinta laskee pellolla kuoppatestissä tällä mitoituksella keskimäärin noin 34–86 mm/vrk (8,6 mm/vrk : 25 % ilmahuokosia = 34 mm/vrk). Jos veden pinta ei laske kuopassa nopeasti rankkasateiden tai sulamisvesien jälkeen, kuivatus ei toimi suunnitellulla tavalla. Tässä tarkastelussa on huomattava, että mitoitus on keskimääräinen, ojan päällä veden pinta laskee nopeammin kuin ojien puolella välissä. Samoin, mitä huonorakenteisempi maa (vähän isoja huokosia), sitä suurempi muutos vedenpinnassa tapahtuu jokaista kuivatettua millimetriä kohden). Salaojaverkosto kokoaa vettä laajalta alueelta, ja korkeuserojen vuoksi verkostoon muodostuu painetta ojaiston tukkeutuessa. Tukkeutunut salaojitus muistuttaa lähdeä ja toimii eräänlaisena altakastelujärjestelmänä.



Kuva 8. Lohkon kellastunut alaosa kärsi märkyydestä kesäkuun lopulla normaalisateisena kasvukautena. Laskuaukosta tuli vettä. Pohjavesi oli kuitenkin noussut 30–40 cm korkeuteen salaojaputkien päällä kokoojaojan juuritukeman takia. Paineellista pohjavettä tulee lohkon yläpuolelta rinteen alaosaan. Siksi laskuaukosta pitäisi tulla paljon enemmän vettä sateettominakin kausina. Kuvat: Jukka Rajala



Kuva 9. Vasemmanpuoleisessa kuopassa vedenpinta on laskenut noin 20 mm ja oikeanpuoleisessa kuopassa noin 100 mm vuorokaudessa. Vasemmanpuoleisen kuopan kohdalla kuivatus on huono, oikeanpuoleisen kuopan kohdalla tyydyttävä. (Pakkanen kuivatti maata normaalia nopeammin). Kuva: Jukka Rajala

2.2 LASKUAUKOSTA TULEVA VESIMÄÄRÄ

Salaojien mitoitusvalunta voidaan ilmoittaa myös virtausnopeutena. Mitoitusvalunta 8,6 mm vastaa 1 l/s/ha virtausta (8,6 mm x 10 000 m² : 86 400 s/vrk). Tätä voi käyttää salaojaston kunnon tarkasteluun. Jos esimerkiksi ojaiston koko on 4 hehtaaria ja mitoitus on 1 l/s/ha, virtauksen pitäisi olla 4 l/s (Kuva 10). Tämän suuruinen virtaus on jo huomattavan suurta. Virtaaman suuruutta voi hahmottaa ämpärin ja sekuntikellon avulla (Kuva 11). Mittaus on syytä tehdä vuodenaikana, jolloin virtaama on suurinta, mutta pohjaveden pinta on laskenut jo salaojien puolivälissä tavoitesyvyyteen (esim. 60 cm). Yleensä mittaus toimii parhaiten alkukeväästä.

Toisaalta mittaamalla laskuaukosta tulevan vesimäärän ja veden pinnan korkeuden pellolla, voi arvioida maan vedenläpäisykykyä. Koska ojista tuleva vesimäärä riippuu useammasta tekijästä (vedenläpäisykyky ojan ylä- ja alapuolella, ojaväli, vedenpinnan korkeus ja ojasyvyys), tarkastelua varten on hyvä tehdä jotain oletuksia. Jos oletetaan, että salaojat on sijoitettu 1 metrin syvyydelle ja tarkasteluhetkellä veden pinta on korkealla (30 cm maanpinnan alapuolella ojien puolivälissä) virtausnopeuden ja ojavälin välille saadaan seuraavanlainen kaavio (Kuva 12) Hooghoudtin ojamitoitusyhtälöllä laskettuna.

$$q = (8 K_b d h + 4 K_t h^2) : L^2 \quad (1)$$

missä q = mitoitusvirtaama (m d-1)

K_b = ojan alapuolisen maakerroksen
vedenjohtavuus (m d-1)

d = ekvivalenttisyvyys (m)

h = ero ojitussyvyyden ja veden pinnan
välillä ojien puolivälissä mitattuna (m)

K_t = ojan yläpuolisen maakerroksen veden-
johtavuus (m d-1)

L = ojaväli (m)

Ekvivalenttisyvyys riippuu putkikoosta, soran määrästä ja ojavälistä, joka taas riippuu ekvivalenttisyvyydestä. Kehälaskennan ongelma voidaan ratkaista joko käyttämällä taulukkoarvoja tai iteratiivista laskenta-algoritmia (Paasonen-Kivekäs ym. 2009). Tässä raportissa yhtälöä käytetään havainnollistamaan eri tekijöiden vaikutusta ojaväliin ja esimerkit on laskettu iteratiivisen laskentataulukon avulla. (Mikäli halutaan määrittää vedenläpäisevyys tarkemmin, esimerkiksi salaojasuunnittelua varten, yksityiskohtaisemmat ohjeet löytyvät viitteestä (Oosterbaan ja Nijland 1994).)

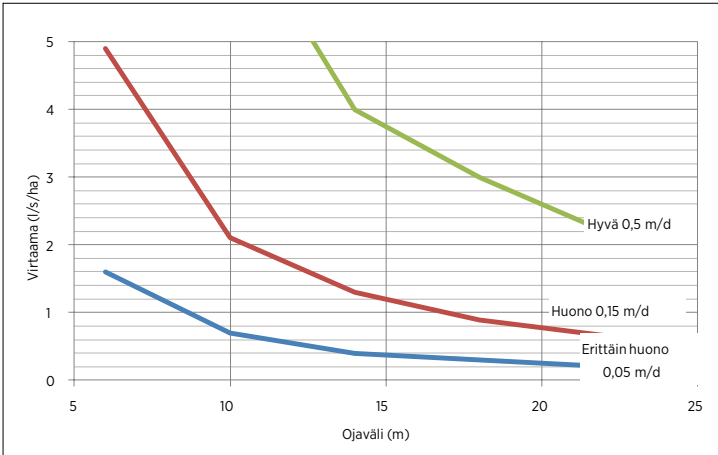
Esimerkin (Kuva 10 ja Kuva 11) tapauksessa virtaama on 0,48 l/sek/ha ja ojaväli on 10 metriä, joten veden läpäisykyky on kaavion (Kuva 12) perusteella erittäin huono ja ojitus saavuttaa noin puolet mitoitusvalunnasta. Heikko kuivatusteho voi johtua tiivistä maan rakenteesta, puutteellisesta vedenläpäisystä kaivantoon, veden hitaasta pääsystä tiiviisiin tiiliputkiin, liian suuresta ojavälistä tai putkitukoksista. Tarkempi selvittely vaatii kaivu- ja selvitystöitä.



Kuva 10. Kaksi laskuaukkoa, joista kummastakaan ei tule riittävästi vettä mitoitusvirtaamaan nähden. (Ojikealla 2,5 litraa sekunnissa, ojaiston koko 4,3 hehtaaria.) Kuva: Tuomas Mattila.



Kuva 11. Virtaaman voi mitata yksinkertaisesti ämpärillä ja sekuntikellolla, kunhan on huolehdittu siitä, että laskuaukko on kunnollinen ja valtaoja on perattu. Kuva vasemmalla: Tuomas Mattila, kuva oikealla: Jukka Rajala.



Kuva 12. Laskuaukosta tuleva virtaama (l/s/ha) erilaisilla vedenläpäisykyvyillä ja ojaväleillä. Käyrät laskettu Hooghoudtin yhtälöllä tilanteeseen, jossa veden pinta on ojien puolesta välissä 30 cm pellon pinnasta (kevätsumamisvedet).

2.3 ILMAKUVAT

2.3.1 ILMAKUVIEN JA SALAOJA-KARTTOJEN YHDISTÄMINEN

Nykyään on tarjolla runsaasti ilmaisia ilmakuvaineistoja, mm. *Google Maps*, *Bing* ja *Paikkatietoikkuna* sisältävät eri aikoina vuotta otettuja korkean tarkkuuden ilmakuvia. Ilmakuvien avulla voi tarkastella lohkon sisäistä vaihtelua ja sopivissa olosuhteissa niiden avulla voi myös paikantaa salaojia (Kuva 14 ja Kuva 15).

Ilmakuvien käyttöä helpottaa, jos niihin yhdistää salaojakartat. Ilmainen *Google Earth* -ohjelmisto mahdollistaa kuvien liittämisen ilmakuvan päälle (Kuva 13). Kuvien tulkinta voi kuitenkin olla haasteellista. Sitä helpottaa, kun palauttaa mieleen, miten vesi liikkuu pellolla (Kuva 7). Jos ongelmat

näkyvät salaojien kohdalla tai jos jonkin kokoojan kohdalla on laajahko märkä alue, viittaavat nämä ojien tukkeutumiseen. Märkyys lohkon jollakin laidalla taas viittaa siihen, että lohkon ulkopuolelta pääsee vettä pellolle. Jos salaojien kohdat näyttävät kasvavan muuta lohkoa paremmin, on pellon vedenläpäisykyky heikko tai vesi ei pääse salaojakaivantoon (Kuva 14). Pellolla näkyvät säännölliset kuviot, jotka eivät liity salaojiin, voivat olla vanhoja sarkaojia tai niihin liittyvää epätasaisuutta. Jos painanteissa kasvu on selvästi muuta peltoa heikompa, viittaa se pellon yleisesti heikkoon vedenläpäisykykyyn.

Jos salaojakartat yhdistää ilmakuviin *Google Earth* -ohjelmistolla, ne voi tallentaa kmz-muotoon ja ottaa pellolle mukaan esimerkiksi *Android*-puhelimien *Locus Map* -älypuhelinsovelluksella.



Kuva 13. Vuoden 1971 ojituskartta sijoitettuna vuoden 2015 ilmakuvien päälle. Kuva: Google Earth, Salaojakartan sijoittaminen ilmakuvaan: Tuomas Mattila.



Kuva 14. Vuoden 2015 ilmakuvassa salaojien paikat näkyvät selvästi parempikasvuisempina alueina. Maan vedenläpäisykyky on heikko ja kuivatus toimii vain salaojan välittömässä läheisyydessä. Kuva: Google Earth.



Kuva 15. Moniongelmainen lohko, jossa kasvu on parempaa salaojien kohdilla, mutta laajoilla alueilla kasvu on epäonnistunut. Kasvu vaikuttaa heikoimmalta kokoojen alapäässä, mikä viittaisi ongelmiin laskuaukkojen tai valtaojan kanssa. Kuva: Google Earth.

2.3.2 ESIMERKKI: LÖYTYYKÖ PELLOILTASI KATTOHUOPAA?

OSMO-hankkeen tilakoetutkimuksessa Ha-koelohkojen alalaidassa oli alue, joka kasvoi selvästi huonommin kuin pellon muut osat ja kuivui hitaasti. Alue näkyi ilmakuvissa (Kuva 16) ja oli sijainniltaan tietyn korkeuskäyrän alapuolella. Saman tyyppisiä ongelma-alueita oli myös viereisillä pelloilla.

Alueelta löytyi kaivettaessa noin 25–35 cm syvyydestä ohuehko, hajoamattomasta turpeesta ja kerrostuneista vesikasvien lehdistä muodostuva huopamainen kerros, joka ei läpäissyt juurikaan vettä (Kuva 17). Huopamaisella kasvintähdekerroksella on erittäin alhainen vedenjohtokyky, sitä voi jopa käyttää pullon korkkina. Pellossa tämänkaltaisen kerros estää ruokamultakerroksen kuivumista,

vaikka salaojitus olisikin toimiva. Märkanä pysyvä maa on alttiina tiivistymiselle ja mururakenteen luhistumiselle. Lisäksi märkyys aiheuttaa hapettomuutta ja estää kasvien juuriston kasvua, mikä heikentää kasvien ravinteiden ottoa.

Ongelman ratkaisu riippuu paljolti siitä, missä syvyydessä huopakerros on. Matalan kerroksen voi rikkoa esimerkiksi jankkurilla tai kyntöauraan liitettävällä syväkuohkeutusterällä. Myyräauralla päästään jo 70–80 cm syvyyteen. Jos huopakerros on tätä syvemmällä, voi olla järkevintä tehdä sala-
ojitukseen sorasilmiä ja varmistaa sitä kautta veden pääsy ojastoon. Huopakerroksen syvyyttä voi kar-
toittaa yksinkertaisesti maanäytekairalla ottamalla samasta kuopasta toistuvia maanäytteitä eri sy-
vyyksiltä (0–20 cm, 20–40 cm, 40–60 cm).



Kuva 16. Ilmakuvat paljastavat pellolla heikommin kasvavan alueen. Kuva: Google Earth, piirroksat: Tuomas Mattila.



Kuva 17. Eloperäisillä mailla liuskeisesti kerrostunut, heikosti hajonnut turvekerros voi läpäistä vettä todella heikosti. Kuvat: Jukka Rajala.

3 KUIVATUKSEN PERUSASIAT

3.1 RIITTÄVÄ KUIVAVARA – VALTAOJAN PERKUUTARVE

Jos pellolla pohjaveden pinta haluttaisiin pitää vähintään 60 cm syvyydellä maanpinnasta, reunaojan on silloin oltava huomattavasti syvempi. Kuivatussyvyyttä menetetään monessa vaiheessa: veden pinta on korkeammalla ojien puolivälissä kuin ojien kohdilla, imuojat laskevat kokoojaojaan, kokooja laskee valtaojaan ja laskuaukko pidetään 20–30 cm kesävesitason yläpuolella (Nijland, Croon, ja Ritzema 2005). Tämän seurauksena ojan kuivavaran olisi syytä olla 1,2 metriä kuivaan aikaan (Mattson ym. 2019). Mitä läpäisevämpi maaperä, ja mitä suuremmat korkeusvaihtelut, sitä pienempi voi olla erotus kasvin kuivatusvaatimusten (esim. 60 cm) ja reunaojan syvyyden (esim. 100 cm) välillä.

Kuivavaraa voi arvioida silmämääräisesti tai vaaituskoneella. Halvimmillaan vaaituskoneena voi käyttää maanrakennukseen tarkoitettua vatupassi-kaukoputki-yhdistelmää (*hand level*) (Kuva 18) tai yksinkertaisesti vatupassia. Taskuvaaituskoneita on saatavilla useimmilta mittaustarvikkeita myyviltä liikkeiltä (esim. CST Berger, Seco, Stanley, Johnson). Tätä kirjoitettaessa niitä ei kuitenkaan ole hyllytavarana ja mittalaitteet joutuu useimmiten tilaamaan verkkokaupasta. Laitteen mittaustarkkuus paranee huomattavasti, jos valitsee mallin, jossa on mukana suurennus.

Jos pellon valtaoja on tukossa ja veden pinta on liian korkealla, veden pinta pysyy korkealla koko ojaverkostossa. Tämä vähentää ojaston kuivatus-

tehoa samaan tapaan kuin, jos ojat olisi asennettu matalampaan. Sen lisäksi ojat ovat koko ajan maakerroksessa, joka on veden kyllästämä, mikä lietää nopeasti maan rakenteen putken ympärillä ja hidastaa veden kulkua putkeen (Nijland, Croon, ja Ritzema 2005).

Valtaojien perkaaminen on yleensä alueellisen ojitussyhteisön vastuulla. Useimmiten ne ovat olleet passiivisia ojien kaivamisen jälkeen, joten ennen suurempaa perkuu-urakkaa ojitussyhteisö pitää käynnistää uudelleen. Pienempiä urakoita voi tehdä maanomistajien yhteisymmärryksellä. Tällöinkin pitää huolehtia siitä, että ojaa ei kaiveta syvemmäksi kuin mihin se on alun perin suunniteltu. Vanhoja toimitusasiakirjoja voi tilata ELY-keskuksesta. Ojitussyhteisöt voivat hakea ojien kunnostukseen tukea. Jos kunnostuksessa käytetään nykyaikaisia vesiensuojelumenetelmiä (kaksikerrosojitus, pohjapadot), tukea on mahdollista saada enemmän kuin vain perkuuhankkeeseen.

3.2 LASKUAUKOT TOIMIVAT KUNNOLLA

Jos kuivavaraa on riittävästi, mutta kuivatustilanne ei ole hyvä, seuraava vikalähde on laskuaukkojen kunto. Laskuaukot voivat rikkoutua monella tapaa. Puiset laskuaukot lahoavat, muoviset luiskahtavat irti putkistosta ja juuret tukkivat molempia. Tukosten estämiseksi laskuaukon pitäisi periaatteessa olla vähintään 15 metrin päässä lähimmästä puusta, pajujuuren osalta jopa 30 metrin päässä (Leuty 2012). Juuritukoksia voi ehkäistä myös käyttämällä umpi-putkea laskuaukon yläpuolella ja/tai tiivistämällä maata voimakkaasti putken ympärillä sekä tiivistämällä liitokset hyvin (Nijland, Croon, ja Ritzema 2005; Quentin ja Schwerdtle 2013).

Koska laskuaukkojen ongelmat ovat yleensä melko lähellä laskuaukon päätä, niiden kunto on helppo tarkistaa. Työvälineenä tarvitaan viemärirassi tai muu kohtalaisen jäykkä kaapeli, joka voidaan työntää laskuaukosta sisään 8–10 metriä (Kuva 19). Jos tällä matkalla ei tule esteitä vastaan, vika on jossain muualla kuin varsinaisessa laskuaukossa. Samalla, kun laskuaukkoa huoltaa, siihen kannattaa laittaa ”myyräpelti”, joka estää sammakoiden ja pienjyrsijöiden pääsyn ojastoon. Eläin-



Kuva 18. ”Taskuvaaituskone” (*hand level*) on näppärä apuväline korkeussuhteiden määrittelyyn.



Kuva 19. Salaojen kuntokartoituksen työvälineet: sala-
ojien koetinkeppi (*Ergorej Oy*) ja viemärirassi
(*Motonet Oy*). Kuva: Tuomas Mattila.

suojelun lisäksi tämä ehkäisee ojaston toimintahäiriöitä, sillä vesimyrät voivat tukkia imuojia pahoin (Quentin ja Schwerdtle 2013). Lopputuloksen viimeistelee merkikieppi, joka auttaa laskuaukon paikannusta jatkossa.

Laskuaukon korvaamista erilaisilla betonisilla rakenteilla kannattaa harkita (Kuva 20). Koko ojaston kustannuksiin verrattuna kunnollinen laskuaukko on edullinen, mutta se helpottaa ojaston kunnon seurantaa merkittävästi. Henry French suositteli 1860-luvulla (French 1860) varustamaan laskuaukot muuratuilla rakenteilla, joihin on kirjattu messinkikilpeen ojaston numerot, pinta-ala ja mitoitusvirtaama sekä rakentamaan pienen altaan, jonka avulla virtaama voidaan arvioida (Kuva 20, French, 1860). Suositus on edelleen toimiva ja helpottaisi kalliin perusinvestoinnin täysimääräistä hyödyntämistä.



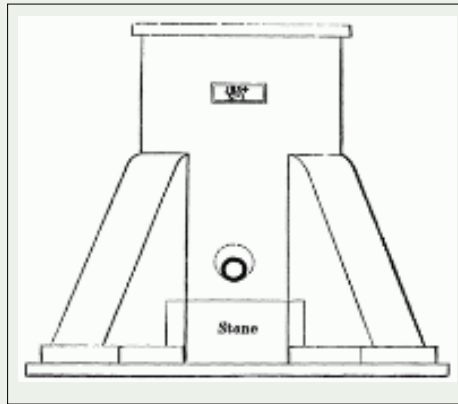
Huono



Välttävä



Tydyttävä



Arveluttavan korkea

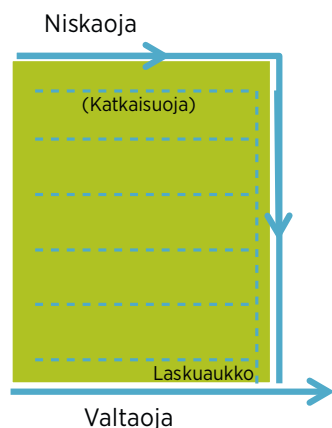
Kuva 20. Esimerkkejä laskuaukkojen viljavuusluokista: huono on sortunut, ruostetta täynnä ja pajun juurien tukkima; välttävä on veden yläpuolella, mutta puutteellisesti merkitty; tyydyttävä on 20 cm ojan pohjan yläpuolella, oja on perattu ja laskuaukko on merkitty; arveluttavan korkean viljavuusluokan laskuaukko on valettu betonista ja siihen on tehty mittapato virtaaman mittaukseen. Kuvat: Tuomas Mattila, piirroskuva: French 1860.

3.3 ULKOPUOLISET VEDET OHJATAAN PELLON OHI NISKAJOJALLA

Salaojien tarkoituksena on kerätä pellolle satavat ylimääräiset vedet ja pitää pohjaveden pinta tasolla, joka ei haittaa viljelyä. Sadevesien lisäksi pellolle tulee vettä ulkopuoliselta valuma-alueelta. Varsinaisen pintavalunta on harvinaista, mutta myös pellon yläpuolella imeytynyt ja pellon alueella pintaan purkautuva vesi aiheuttaa ongelmia. Ulkopuolisia vesiä hallitaan reunaojilla (Kuva 21).

Suomessa yleisin tapa katkaista veden pääsy yläpuolelta pellolle on niskaoja pellon ja metsän välissä. Niskaoja on yleensä hyvin matala eikä palvele tarkoitustaan, jos ulkopuolisia vesiä suotautuu runsaasti. Pellolla näkyvä märkiä alueita tai jopa lähteitä, jos ulkopuolisia vesiä ei saada riittävästi poistettua. Ongelmaa voidaan ratkaista syventämällä niskaojaa niin paljon, että suotavat vedet eivät enää pääse pellolle. Toinen vaihtoehto on lisätä salaojastoon ylimääräinen katkaisuoja (Quentin ja Schwerdtle 2013), joka estää veden pääsyn muualle pellolle.

Jos reunaojia käytetään myös osana salaojituksista, niiden on oltava syviä (vrt. Kuva 7), noin 80–100 cm. Toisaalta, jos niiden tarkoituksena on ainoastaan kuljettaa niskaojan keräämä vesi pellon ohi, riittää, että reunaoja viettää tasaisesti eikä vesi pääse seisomaan ojassa.



Kuva 21. Reunaojien osat. Lohkon yläpuolinen niskaoja katkaisee pellon ulkopuolelta tulevat pinta- ja vajovedet. Reunaoja johtaa ulkopuoliset vedet pellon ohi ja valtaoja kuljettaa ulkopuoliset ja lohkolta kuivatetut vedet pois alueelta. Pellon salaojat kokoavat pellon alueelta ylimääräiset vedet ja purkavat ne laskuaukon kautta valtaojaan. Tarvittaessa salaojitukseen lisätään pohjaveden virtauksen katkaiseva katkaisuoja, mikäli niskaoja ei riitä estämään veden tihkumista peltoon. Kuva: Tuomas Mattila.

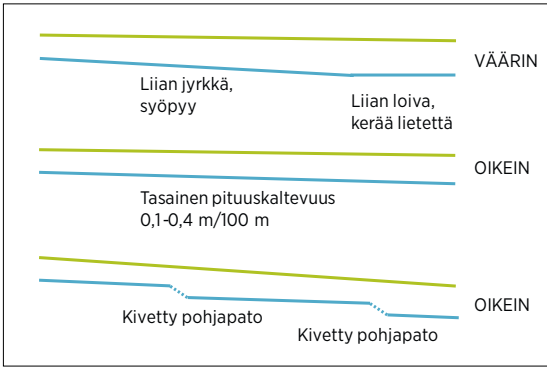
Reunaojiin kertyy maa-ainesta, kasvillisuutta ja kasvintähteitä, jotka voivat estää ojan toiminnan. Parhaassa tapauksessa valuma-alueella ei ole eroosiota ja maa-ainesta ei kerry. Toinen vaihtoehto on huolehtia siitä, että ojissa virtausnopeus on riittävän suuri estämään lietteen kerääntyminen. Huonosti suunniteltu ojasto voi tukkeutua jo muutamassa vuodessa, mutta useimmiten oja joudutaan kunnostamaan 15–20 vuoden välein.

Huoltoväliä voidaan käyttää arvioitaessa vuodessa perattavien ojien määrää. Vuodessa perattava ojamäärä saadaan jakamalla kokonaisojametrit perkausvälillä. Esimerkiksi jos 100 hehtaarin tilalla on keskimäärin neljän hehtaarin peltolohkoja, joissa on noin 900 metriä reunaojia, oja on yhteensä 22,5 kilometriä (100 ha : 4 ha x 900 m). Jos ojat pitää perata 15 vuoden välein, vuodessa on perattava 1500 metriä (22 500 m : 15 v), jotta huoltorästä ei kertyisi.

Reunaojia perattaessa on huolehdittava siitä, että ojan pituuskaltevuus pysyy hallinnassa. Pituuskaltevuudella tarkoitetaan sitä, kuinka paljon oja syvenee tietyllä etenemismatkalla. Tyypillisesti ojissa käytetään 10–50 cm/100 m pituuskaltevuutta. Eroosioherkillä mailla ei suositella yli 20 cm/100 m pituuskaltevuutta (0,2 %) (Hallakorpi 1932). Jos osa ojasta kaivetaan liian nopeasti syveneväksi, loppuosaa on loivennettava. Tällöin vesi irrottaa liian jyrkässä kohdassa maa-ainesta ojan pohjasta (ojaeroosio) ja maa-aines kerääntyy myöhemmin ojan loivempaan kohtaan (Kuva 22).

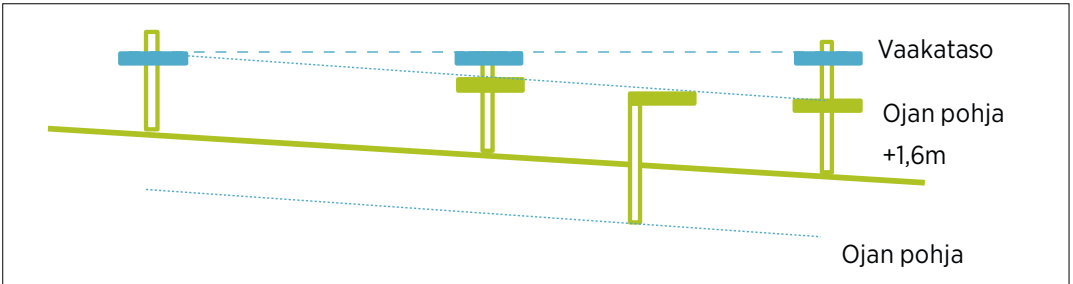
Ojan korkeussuhteet ja kaltevuuden voi tarkistaa joko vaaituskoneella, laserilla tai yksinkertaisesti ”sihtauskepeillä” (Kuva 23). Ensin ojan linjaus merkitään kepeillä maastoon. Sen jälkeen keppeihin merkitään vaakapuut samalle korkeussuhteelle. Korkeussuhteen voi määrittää esimerkiksi vatu-passilla ja pitkällä narulla, mikäli vaaituskonetta ei ole käytettävissä. Tarvittavan pituuskaltevuuden perusteella merkitään haluttu ojanpohja + haluttu etäisyys (esim. 1,6 m ojan pohjasta) vaakapuulla. Tämän jälkeen voidaan katsoa vaakapuiden päältä, asettuuko ojan pohja haluttuun korkeuteen). Tässä tilanteessa ojaa joudutaan puhdistamaan ja ojan yläosa syöpyy jatkuvasti syvenemmäksi. Parempi ratkaisu on pitää oja tasaisen kaltevana tai lisätä kaltevuutta vähitellen. Tällöin vesi kuljettaa maa-aineksen pois ja oja pysyy puhtaana.

Kaivuutyössä muodostuu runsaasti maamassoja, etenkin jos ojaa joudutaan syventämään (Kuva 24). Jos ojaa syvennetään 10 cm, se levenee 20–40 cm luiskan kaltevuudesta riippuen. Jos esimerkiksi 50 cm syvää ojaa, jonka luiska on 1:1,25, syvennetään 10 cm, ojan piiriksi tulee 2,3 m ja maamassoja



Kuva 22.

Ojan pituuskaltevuuden tulisi olla riittävän suuri estämään liettyminen, mutta riittävän alhainen estämään ojaeroosio. Joissain tapauksissa on parempi käyttää jyrkimpien kohtien kiveystä, jotta kaltevuus saadaan hallittua muilla ojan osilla. Kuva: Tuomas Mattila.



Kuva 23. Ojan pohja saadaan haluttuun pituuskaltevuuteen yksinkertaisesti, kun käytössä on sihtauskeppi ja pohjan tarkistusta varten poikkipuulla varustettu keppi (piirretty (Brouwer ym. 1989; French 1860) perusteella).

syntyy noin 23 m³ sataa metriä kohden. Kaivetun maan tilavuus kasvaa maalajista riippuen 11 - 40 % (hiedat-savet), joten siirrettävää maata tulee 25-35 irto-m³ sataa metriä kohden. Maat voidaan levittää lähelle pellolle, mutta tällöin pitää varmistaa, että ei estetä pintavesien virtailua. Paras käyttö maamassoille on pellolla olevien painanteiden täyttö (osio Pinnanmuotoilu).

Yleisemmin kaivuun tuottamien maamassojen määrän voi laskea kaavalla:

$$V = A \times l \times (1+s),$$

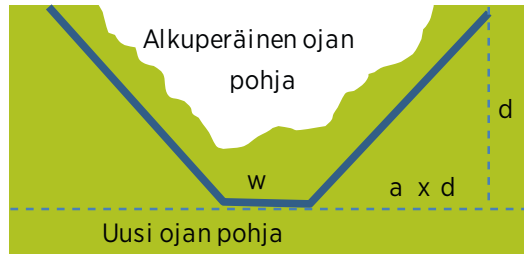
missä A = kaivuun poikkipinta-ala (m²)

l = kaivettavan ojan pituus (m)

s = paisumiskerroin (m³/m³)

Ojan pohjan syvennyksen poikkipinta-ala riippuu ojan muodosta ja luiskista sekä siitä, paljonko ojaa syvennetään. Suuruusluokan saa laskettua kertomalla kaivuun piirin pituuden lisäkaivuussyvyydellä. Yksinkertaisessa tapauksessa piirin (p) voi laskea pohjan leveyden (w), kaivuussyvyyden (d) ja luiskakertoimen a avulla:

$$p = w + 2 \times (d^2 + (a \times d)^2)^{0.5}$$



Kuva 24.

Ojan syvennys tuottaa runsaasti maamassoja. Maata tulee sitä enemmän, mitä syvemmälle kaivetaan ja mitä loivemmat luiskat tarvitaan. Kuva: Tuomas Mattila.

4 SALAOJIEN TOIMINTAHÄIRIÖIDEN TUNNISTAMINEN JA KORJAUS

4.1 YLEISIMMÄT ONGELMAKOHDAT

Jos pelto on edelleen märkä, vaikka laskuaukot ja reunaojat toimivat, vikaa kannattaa etsiä salaojastosta. Salaojat eivät yleensä rikkoutu itsestään keskellä putkilinjaa. Yleisimmät kohteet, joissa salaojat tukkeutuvat tai rikkoutuvat liittyvät ojaiston kaivoihin, liitoksiin tai mutkiin (Quentin ja Schwerdtle 2013; Nijland, Croon, ja Ritzema 2005). Joissain tapauksissa putkien jatko on jäänyt löysälle ja lähtenyt liikkeelle roudan tai koneiden aiheuttaman paineen johdosta.

Salaojaverkoston toiminnan häiriöitä kannattaa lähteä tarkastelemaan esimerkiksi seuraavassa järjestyksessä:

- lietekäivot
- kohdat, joissa ojaiston kaltevuus vaihtuu loivemmaksi
- liitoskohdat ja suunnanmuutokset

4.2 KARTTAPOHJAINEN TARKASTELU

Jos käytössä on ilmakuvan päälle asetettu salaojakartta ja älypuhelin, ongelmakohtien tarkastelu helpottuu huomattavasti. Kun salaojakartan lataa puhelimen karttasovellukseen (esimerkiksi Locus Map), voi tarkistaa vastaavatko pellolla olevat määrit kohdat salaojalinjoja (Kuva 25).

4.3 TUKOSTEN PAIKANNUS

Kun epäillään salaojien tukkeutumista tai rikkoutumista, prosessi on periaatteessa yksinkertainen: rikkoutunut putki kaivetaan esiin, katkaistaan ja joko avataan tai vaihdetaan ehjään. Käytännössä työtä hankaloittaa se, että etsitään noin 10 cm leveää putkea noin 1500 cm alueelta. Lisäksi, jos putki on tukkeutunut, alue on täynnä vettä ja kaivuutyö on vaikeaa.

Joissain tapauksissa tukkeutuneen putken vedenpaine riittää kaivamaan maahan pienen (4–100 mm) reiän pintaan saakka. Jos pinnassa näkyy pyöreä reikä, josta pulppuaa vettä, tukos on todennäköisesti tämän alapuolella (Kuva 26). Jos märkä



Kuva 25. Salaojakartta ilmakuvan päällä yhdistettynä GPS-paikannukseen on hyvä apuväline pellon ongelmakohtien ja salaojien etsimiseen älypuhelimella. Kuva: Jukka Rajala.

kohta on salaojan kohdalla, on syytä epäillä tukosta, jos taas määrit kohdat ovat ojen puolivälissä, ojaväli on riittämätön.

Tukos avataan kaivamalla märkään kohtaan muutaman metrin syvyinen kaivanto, josta pääsee putkeen käsiksi. Tästä edetään vähitellen putken päällä ylöspäin. Kun putken päältä alkaa pulputa vettä, tukos on paikannettu. Putki kannattaa katkaista ensin kuivalta puolelta ja tukea putken pää soralla ylös, jotta siihen ei päädy maa-ainesta. Kun putki katkaistaan tukoksen yläpuolelta, vettä tulee kovalla paineella, kunnes putkistoon kertynyt vesimäärä on purkautunut. (Quentin ja Schwerdtle 2013.)

Jos pintaan pulppuavaa vesilähdettä ei ole, tukos pitää paikantaa muilla tavoin. Jos tukos on alueella, johon päästään salaojahuuhtelulaitteella, se voidaan paikantaa huuhtelemalla ylöspäin (Kuva 27 ja Kuva 28). Jos huuhteluputki törmää tukokseen, etäisyys laitetaan muistiin ja tukoskohta kaivetaan esiin. Huuhtelua jatketaan putkilinjaa ylöspäin. Jos tukosta ei löydy, putki kaivetaan auki uudelleen huuhtellun matkan päästä ja huuhtelu toistetaan, kunnes koko putki on tarkastettu. Huuhtelussa on varottava rikkomasta putkea liian kovalla huuhtelupaineella. Paine saisi olla korkeintaan 12–15 bar

suuttimen päässä (noin 50 bar pumpussa) ja huuhteluletku pitäisi syöttää maltillisella nopeudella putkeen (noin 0,3–0,5 m/sekunti) (Nijland, Croon, ja Ritzema 2005).

Putken seuraaminen onnistuu parhaiten ajokeppien ja koetinkepin avulla. Koetinkepillä paikannetaan salaojaputki ja kohta merkitään noin metrin mittaisella ajokepillä (Brouwer ym. 1989). Seuraavaksi koetinkepillä paikannetaan putki noin 5–10 metrin päästä ja kohta merkitään jälleen ajokepillä. Kun havainnoija katsoo molempia keppejä samalla näkölinjalla, hän seisonee silloin putken kohdalla, jolloin se on taas helppo paikantaa koetinkepillä (rassilla) (Kuva 29). Tätä toistetaan, kunnes ajokepit on saatu noin 20–30 metrin päähän toisistaan, minkä jälkeen paikannus on tarkkaa, jos putki on asennettu suoraan.

4.4 PUTKEN PAIKKAUS

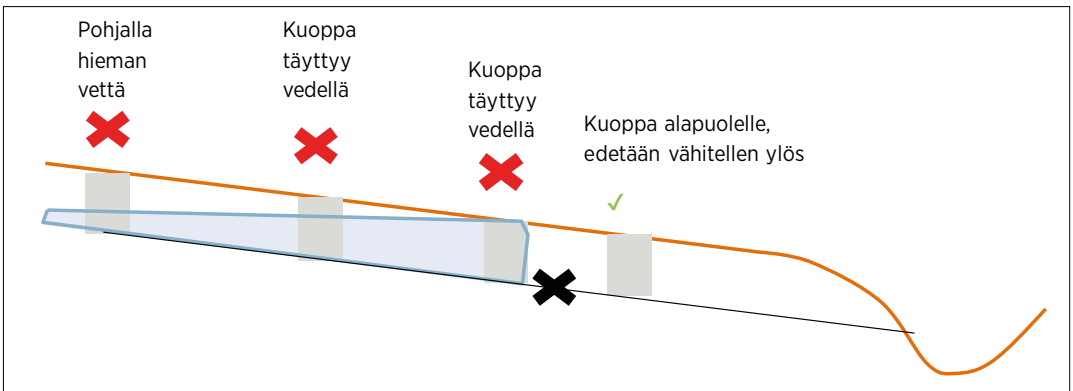
Jos putki on rikkoutunut tai se on tarpeen katkaista, putki pitää koota uudelleen tiiviisti. Putkiliitoksen voi tehdä helposti muovisesta salaojaputkesta. Ensin tarvitaan oikean kokoinen muoviputki. Muoviputkesta leikataan halkiksi noin 30–40 cm mittainen pätkä, josta leikataan putken halkaisijasta riippuen pituussuunnassa noin 5–10 cm kaistale pois. Tämän jälkeen leikattu putki painetaan liitoskohdan päälle (Kuva 30). Välistä leikattu kaistale mahdollistaa putken avaamisen ilman, että vastapuoli murtuu.

Korjaustyössä on tärkeää, että putken korjatun osan ja putken, johon liitos tehtiin, alle jää tiivis sorakerros. Kun esiin kaivettu putkikaivanto täytetään, muodostetaan sille ensin tasainen pohja.



Kuva 26.

Tukkeutunut salaojaputki näkyy pintaan tulevana vetenä, jos vedenpaine putkistossa on riittävä. Kuva: Tuomas Mattila.



Kuva 27. Tukoksen paikannuksen periaate Kuva: Tuomas Mattila Quentin ja Scwedtlen (2013) perusteella.

30 KUIVATUS KUNTOON PELTOLOHKO KERRALLAAN
TUOMAS J. MATTILA, JUKKA RAJALA JA HEIKKI AJOSEN PÄÄ



Kuva 28. Salaojatukosten paikannusta käsin putkea työnnettävän Landy Drain Jetter -huuhtelulaitteen avulla (kuva vasemmalla). Sensijaan automaattisen huuhtelulaitteen näyttö kertoo metreinä kohdan, jossa huuhteluletku pysähtyy (kuva oikealla). Kuvat: Jukka Rajala.



Kuva 29. Ajokepit sijoitetaan kokooajojen kohdalle vaihteittain edeten 20–30 m kerrallaan. Merkkaukseen on käytetty sähköaidan tolppia (kuva vasemmalla) tai aurasviittoja (kuva oikealla) Kuva: Jukka Rajala

Sen jälkeen soraa laitetaan putken molemmille puolille putken yläpintaan saakka. Sen jälkeen varmistetaan, että täytekerros asettuu tiiviisti putken ympärillä. Tämän jälkeen putken päälle levitetään tasaisesti noin 10 cm kerros soraa, joka painellaan

tiiviisti putken päälle ja ympärille. Soran päälle laitetaan lapiolla noin 30 cm maakerros, minkä jälkeen loput kaivannosta voidaan täyttää koneella. (Quentin ja Schwerdtle 2013.)



Kuva 30. Rikkoutuneen 40 mm tiiliputken korjaus muoviputken avulla. Paikkauspalasta sahataan 5–7 cm kaistale pois, jolloin se on helppo painaa paikaksi liitoskohdan päälle. Kuvat: Jukka Rajala.

5 PINTAVESIEN OHJAILU

”Salaojituksen kunnossa pysymisen vuoksi on tärkeää, että:

- valtaojat jatkuvasti pidetään sellaisessa kunnossa, että niiden pohja tai tavallisen kesäveden pinta on 15–30 sm laskuaukon alareunan alapuolella
- niskaajat kaivetaan ja pidetään sellaisessa kunnossa, että sivupintavesien valuminen salaojitetulle alueelle ehdottomasti estyy
- kyntö suoritetaan mikäli mahdollista poikittain salaojain suuntaan nähden ja käytetään (tarvittaessa) syvämuokkausta
- vesivakoja ajetaan kaikkiin tarpeellisiin paikkoihin, niin ettei pintavesien seisonta ole missään kohdassa mahdollista ja tarpeen mukaan lisätään sorasilmäkkeitä
- savimaita ei muokata märkänä ja jos kuitenkin muokataan, on myös samalla ajettava tarpeelliset vesivaot
- laskuaukot ja lietekaivot tarkastetaan ja puhdistetaan kylliksi usein sekä tarpeelliset korjaukset suoritetaan viipymättä”

Salaojitusyhdistys, Salaojitus suunnitelma, Lausuntolomakepohja, 1950-luku.

5.1 PINTAVESIEN VÄLTÄMINEN: MAAN TIIVISTYMISEN EHKÄISY

Salaojat mitoitetaan tietyn mitoitussateen perusteella. Jos vesi ei pääse imeytymään peltoon, sitä keskittyy pellon painanteisiin ja notkelmiin. Näissä kohdissa vettä voi kertyä moninkertaisesti sadantaan verrattuna (esimerkiksi 30 mm sadannalla jopa noin 600 mm). Ongelmaa voidaan välttää lisäämällä näihin kohtiin monin verroin enemmän oja ja sorasilmiä, mutta parempi ratkaisu on välttää veden kertymistä ja siitä seuraavaa maan tiivistymistä ja varmistaa että sadanta imeytyy kohtiin, joihin se sataa.

Veden imeytymiskykyä voi testata helposti kaatamalla vesipullosta noin 0,5 litraa vettä maahan ja katsomalla, mihin vesi menee (HMI 2002) (Kuva 31). Veden imeytymisalueen leveys, pituus, imeytymissyvyys ja imeytymisnopeus kuvaavat pellon kykyä imeä vettä rankkasateen tai sulamisvesien aikaan (Kuva 31). Tavoitteena voidaan pitää sitä, että vesi imeytyisi alle minuutissa koko ruokamultakerrokseen. Tarkemman kuvan veden imeytymis-



Kuva 31. Veden imeytymisestä vesipullolla paljastaa, miten vesi imeytyy maahan. Veden leviämisleveys nähdään maanpinnalta ja imeytymissyvyys lapiolla kaivaen. Kuvat: Jaana Ravander.



Kuva 32. Pohjattomalla kattilalla voidaan arvioida veden imeytymisnopeus maahan (mm/min). Lapiolla kaivaen nähdään mihin vesi imeytyi maassa. Kuvat: Jaana Ravander.

kyvystä saa upottamalla pellon pintaan esimerkiksi kattilan, josta on leikattu pohja pois ja mittaamalla, kauanko 100 mm vesipatsaan imeytyminen kestää (Burgy ja Luthin 1956) (Kuva 32). Pohjamaan vedenläpäisykykyä voi mitata vastaavalla tavalla poistamalla ruokamultakerroksen ja upottamalla pohjattoman kattilan pohjamaahan.

Maan tiivistymisen ehkäisemisessä ratkaisut löytyvät maan kuormituskestävyyden lisäämisestä (kuiva pelto, paljon juuria) sekä kuormituksen vähentämisestä (kevyet koneet, suuret renkaat). Tiivistymisen ehkäisemistä on käsitelty erikseen raportissa ”Miten vältän haitallisen tiivistymisen maatalousrenkaiden avulla?” (Mattila ja Rajala 2018).

5.2 PINNANMUOTOILU

Kun sadanta tai lumen sulaminen on suurempaa kuin veden imeytyminen, vesi valuu pellon pinnalla. Pinnanmuotoilulla voidaan huolehtia siitä, että vesi ei keskity haitallisesti painanteisiin ja notkoihin (Kuva 34).

Valuessaan pellon pinnalla vesi kulkee jyrkintä suuntaa rinnettä alaspäin (kohtisuoraan korkeuskäyriin nähden). Tällöin se keskittyy nopeasti tiettyihin kohtiin, mikä lisää eroosioriskiä ja myös painanteiden märkyyttä (Kuva 33). Pinnanmuotoilulla voidaan vähentää veden keskittymistä ja parantaa sen myötä viljelykasvien talvehtimista (Kuva 34).



Kuva 33.

Vesi virtaa pellolla kohtisuoraan korkeuskäyriin nähden, mikä keskittää vettä painanteisiin ja notkoihin. Laserkeilausaineisto 10 cm korkeuskäyrillä OSMO-hankkeen tilatutkimuksen Ju-koelohkoilta. Kuva: Google Earth. Piirros: Tuomas Mattila.



Kuva 34. Veden keskittyminen painanteisiin voi johtaa apilan ja syyskylvöisten kasvien täydelliseen tuhoutumiseen talvella tai kesällä runsaiden sateiden aikaan. Riskinä on myös maan rakenteen heikkeneminen ja tiivistyminen. Notkelmat on helppo havaita lumen sulamisen aikaan tai tuhoutuneesta kasvustosta. Kuvat: Jukka Rajala.

Kaikessa maansiirrossa on kuitenkin huomattava se, että siirretty maa on saatava sidottua juuristolla ennen seuraavaa virtailua. Muutoin eroosio voi pilata saavutettavat hyödyt. Toisaalta maamassojen siirrolla ei saa muodostaa patoja veden virtaamiselle.

Jos kyntö kuuluu tilalla pellon perusmuokkaustoimenpiteisiin, sen avulla voidaan tehokkaasti siirtää maata sivusuunnassa. Jos kyntö aloitetaan notkon pohjalta sen keskelle päin viilut kääntäen, maata siirtyy molemmilta puolilta notkon pohjalle. Siirtoetäisyys on vain viilun leveys (35–50 cm), mutta useamman kerran toistettuna oikein suunnitellulla kuviokynnöllä voidaan maata tasata huomattavasti.

Usein pellon reunassa on pengeri, joka on peräisin aiemmista ojan perkauksista. Pengeri saadaan poistettua esimerkiksi muokkaamalla maa löyhäksi kultivaattorilla ja ajamalla sitä keskemmälle peltoa perälevyllä. Lyhyillä kuljetusmatkoilla perälevy on tehokas maansiirtoväline, etenkin jos siirron aluksi tehdään maavallit siirtokaistan molemmille puolille estämään maan poistumista lanasta (Kuva 35).

Nopeampiin ja suurempiin pellontasauksiin voi olla hyödyllistä ajaa täyttömaata painanteisiin peräkärryllä. Jos täyttömaata ajetaan paljon (yli 10–15 cm kerros), on syytä kaapia täyttöalueelta ruokamultakerros ensin pois. Painanteet on hyvä täyttää 10 % yli, sillä maa painuu tiivistyessään. Eli jos maata ajetaan 50 cm, täyttö tehdään 55 cm korkeuteen.

Tiivistymisen välttämiseksi kaivuutyöt on hyvä tehdä maan ollessa jäässä tai rutikuivaa (Kuva 36). Jos ojamaat ovat märkiä tai jäässä, niiden levittäminen on vaikeaa. Ojamaat saadaan kuivatettua, jos ne levitetään perälevyllä tai kaivinkoneella kohtalaisen matalaksi kerrokseksi (Kuva 37 ja Kuva 38), jota käännellään ja tasataan kultivaattorilla. Kokonaisuuden kannalta voi olla järkevintä tehdä ojien perkaus ja tasaus esimerkiksi nurmen päättämisen



Kuva 35. Lyhyille matkoille maansiirto sujuu perälevyllä. Siirtoa tehostaa, kun siirtoa varten tekee ”rännin” maavalleista. Kuva: Tuomas Mattila.

yhteydessä. Tässäkin tapauksessa kaivuu ja maamassojen ajo voidaan tehdä jo talvella tai kesällä kuivaan aikaan.

Jos ojaa ei ole perattu hiljattain, kaivuumassojen mukana tulee kantoja, juuria, oksia ja mahdollisesti puita sekä kiviä. Puut kannattaa poistaa etukäteen talvella. Kantoja ja kiviä ei kannata tuoda pellolle. Mikäli niitä ei saada erotettua heti kaivuun yhteydessä, maamassat kannattaa levitellä ja kuivatella ojan lähellä pienehkällä alueella sekä erotella kivet ja juurakot kuivuneesta ja murustuneesta maasta ennen maan lopullista levittämistä.



Kuva 36.

Kun ojen perkaus tehdään kesällä nurmilohkolla maan ollessa kuivaa, se kestää liikenteen tiivistymättä. Rengastuksesta ja maltillisista akselipainoista on silti syytä huolehtia. Kuva: Jukka Rajala.



Kuva 37.

Ojamaata notkelmaan ajettuna odottamassa levittämistä. Levitys kannattaa savimaalla tehdä vaiheittain ensin perälevyllä tai kaivinkoneella. Kuva: Jukka Rajala.



Kuva 38. Lopullinen levitys tehdään perälevyllä ja tasausäkeellä. Kuvat: Jukka Rajala.

5.3 VESIVAOT

Pienikin ura pellon pinnalla voi pysäyttää ja ohjata pintavirtailua. Yksinkertaisimmillaan tätä on hyödynnetty vesivakojen avulla, mutta vesivaon sijoittelua kannattaa miettiä. Koska vesivako kerää vettä ja siirtää sitä, on huolehdittava siitä, ettei vesivako pahenna tilannetta aiheuttamalla märkyyttä tai eroosiota muualla. Jos vesivako saadaan sijoitettua loivasti viettäväksi (1:300), se kuljettaa vettä painanteen ohi alueille, joissa vesi ei keskity enää vahingollisesti (Kuva 39).

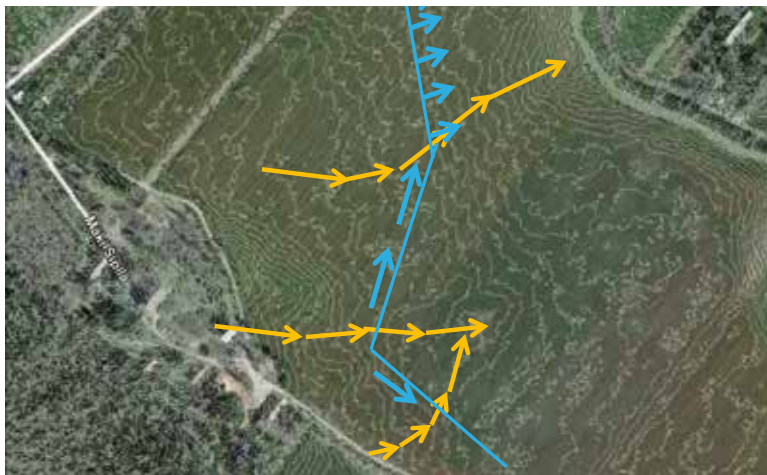
5.4 MUOKKAUSSUUNTA

Aina ei tarvita erillisiä vesivakoja, sillä useat muokkuskoneet jättävät pellon riittävän epätasaiseksi tai harjumaiseksi veden ohjailuun. Pienikin ura riittää katkaisemaan veden virtaussuunnan ja ohjaamaan vettä painanteiden ohi. Toisaalta väärin sijoitettu muokkaussuunta keskittää vettä nopeasti painan-

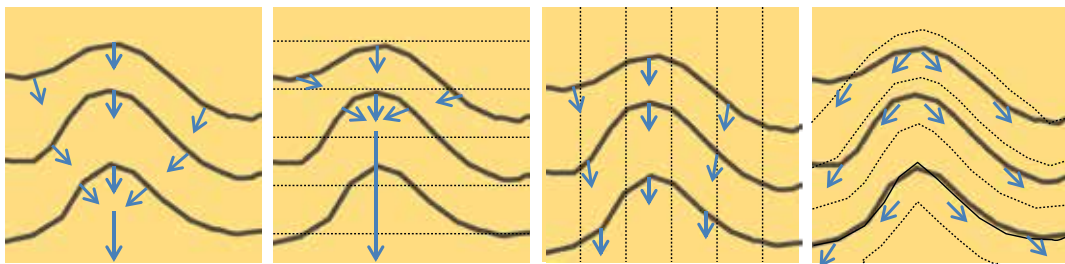
teisiin ja lisää eroosioriskiä (Kuva 40). Muokkaussuuntaa valitessa oleellista on, että muokkauslinjat eivät mene painanteen läpi ja toisaalta että muokkaussuunta ei mene liian jyrkästi mäkeä alas. Kun sopiva muokkaussuunta on löydetty, sen voi merkitä maastoon pysyvästi esimerkiksi ruuhokaistalla tai vesivaolla.

5.5 ESIMERKKI PINTAVESIEN HALLINNAN VAIKUTUKSISTA LOHKON KUIVATUKSEEN

OSMO-hankkeen tilatutkimuksen Sa-koelohko oli märkyyden vaivaama ja syysviljat eivät talvehtineet. Maalajiltaan lohko on savesta ja hienoa hietaa sisältävää hiesumaata, jonka multavuus on melko korkea. Lohkolla on viljelty kevätiljoja ja kevätrapsia pitkään suorakylvönä. Mahdollinen muokkaus on tehty matalaan lautasmuokkarilla. Pellon pinta oli epätasainen ja painanteisiin kertyi vettä. Yleisenä



Kuva 39. Vesivakojen avulla voi ehkäistä veden keskittymistä painanteisiin. Hyvin sijoitettu vesivako on niin loiva ettei se aiheuta eroosiota (1:300) ja että se purkaa keräämänsä vedet paikkaan, jossa vesi valuu tasaisesti. Purkukohta voidaan tasoittaa hyvin, jolloin vettä ei purkaudu yhteen pisteeseen liikaa. Kuva: Google. Piirros: Tuomas Mattila.



Kuva 40. Muokkaussuuntien avulla voi ohjata veden liikettä pellolla merkittävästi (vasemmalla veden kulku kohtisuoraan korkeuskäyriin nähden ilman muokkausta, poikkirinteen muokkaus keskittää veden notkoihin, rinteiden suuntaisen muokkaus kuivattaa pellon tasaisesti, korkeuskäyriä mukaileva muokkaus levittää veden tasaisesti rinteeseen). Kuva: Tuomas Mattila.

kuivatushavaintona on myös syytä todeta, että lohkon reunoja oli perkaamaton ja lohko on pengerysalueella, jossa pato saattaa vuotaa.

Lähtötilanteessa ruokamultakerroksesta ylin 5 cm oli hyvärakenteista, mutta muu ruokamultakerros ja pohjamaan yläosa olivat tiiviitä (Kuva 41). Vesi pääsi liian hitaasti maan pintaosista salaojiin. Sateisina aikoina vettä kertyi ruokamultakerroksen alaosaan. Tiivistynyt kerros ei läpäissyt vettä riittävästi. Juuristo kasvoi harvassa, samoin juurikana via oli harvassa. Lieroja esiintyi vain hyvärakenteisessa 5 cm pintakerroksessa.

Lohkolla kunnostettiin maan rakennetta. Suojaviljaan perustettiin puna-apilapitoinen seosnurmi

keväällä 2016. Ennen kylvöä lohko muokattiin kultivaattorilla. Kesällä 2017 nurmesta korjattiin yksi säilörehusato, minkä jälkeen heinäkuun alussa lohko syväkuohkeutettiin 35 cm syvyyteen (Kuva 42).

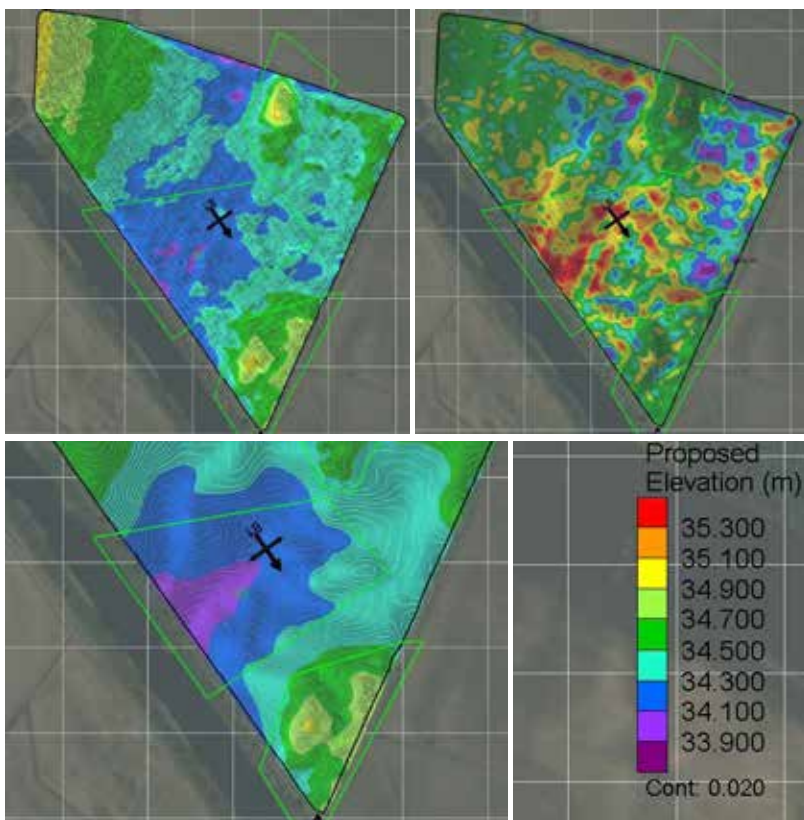
Elokuussa 2017 lohkon reunaosat perattiin ja ojamaat ajettiin notkelmiin täytemaaksi. Muokkauksen jälkeen koko lohko tasattiin automaattisesti toimivalla tasauslanalla. Oheisissa kuvissa esitetään korkeuden vaihtelut ennen tasausta, ehdotus leikkaussuunnitelmaksi ja tavoiteltavat korkeudet lohkon eri osissa tasaamisen jälkeen (Kuva 43). Sen jälkeen lohkolle levitettiin kipsiä 4 t/ha Ca:Mg-suhteen tasapainottamiseksi ja rakenteen parantamiseksi.



Kuva 41. Ruokamultakerroksesta ylin 5 cm oli varsin hyvärakenteista (vasemmalla). Sen alapuolinen ruokamultakerros ja pohjamaan yläosa (oikealla) ovat tiiviitä. Vesi pääsi liian hitaasti maan pintaosista salaojiin. Kuvat: Jukka Rajala 21.6.2016 ja 27.4.2016.



Kuva 42. Koelohko syväkuohkeutettiin säilörehunurmen korjuun jälkeen heinäkuun alussa. Jankkurointi kuohkeutti maan rakennetta hyvin (kuva vasemmalla). Ilman jankkurointia maa oli tiivistä (kuva oikealla). Kuvat: Jukka Rajala 11.7.2017.



Kuva 43. Lohko tasattiin automaattisesti toimivalla tasauslanalla. Oheisissa kuvissa esitetään korkeuden vaihtelut ennen tasausta (vasen yläkuva), ehdotettu leikkaussuunnitelma (oikea yläkuva) ja tavoiteltavat korkeudet lohkon eri osissa tasaamisen jälkeen (vasen kuva alhaalla). Korkeusasteikko merenpinnasta alhaalla oikealla. Kuvat: Rami Lilja.

Tasauksen jälkeen lohkolle kylvettiin ruista, joka talvehti hyvin ja siitä saatiin hyvä sato (Kuva 44). Viljelykierron monipuolistaminen talvehtivilla syväjuurisilla kasveilla, muokkausmenetelmän muuttaminen maata tarpeen mukaan kuohkeuttavaksi, reunojen perkaus ja lohkon tasaus riittivät tällä lohkolle hyvän kuivatuksen aikaansaamiseen. Kylvön yhteydessä tehty jankkurointi varmisti talvehtimistä märkänä syksynä turvaten rukiin juuristolle hapelliset olosuhteet. Kevättulvan alle jääneessä lohkon alavimmassa osassa vesi viipyi huhtikuussa 2018 liian pitkään, josta oras kärsi ja sato jäi alle puoleen muun lohkon satotasosta.

Syysviljojen talvehtimisen kannalta hyvä kuivatus on erittäin tärkeää. Aina hyvän kuivatuksen saavuttamiseen ei tarvita salaojituksen täydentämistä vaan edullisemmilla perusasioilla saadaan kuivatus riittävän hyvälle tasolle.



Kuva 44. Monipuolistamalla viljelykiertoa syväjuurisilla, talvehtivilla kasveilla, muokkausmenetelmää muuttamalla, syväkuohkeutuksella, reunojen perkuulla ja painanteiden tasaamisella lohkon kuivatus saatiin rukiin viljelyyn sopivaan kuntoon. Hyväkasvuiset kohdat jankkuroitiin kylvön yhteydessä ja huonokasvuiset kohdat jätettiin jankkuroimatta. Jankkurointi kylvön yhteydessä paransi rukiin talvehtimistä ja sadonmuodostusta huomattavasti märän syksyn olosuhteissa. Kuva: Jukka Rajala 17.7.2018.

6 MAAPROFIILIN VEDENLÄPÄISYKYVYN ARVIOINTI

6.1 OJAVÄLIN RIIPPUVUUS MAAN VEDENLÄPÄISYKYVYSTÄ

Suomessa ojaväli on tyypillisesti määritetty maalajikohtaisilla taulukoilla (Äijö 2016). Taustalla on oletus vedenläpäisykyvystä erilaisilla maalajeilla sekä oletus siitä, että vedenläpäisykyky on samanlainen ojan ylä- ja alapuolella. Ilmoitetut ojavälit voidaan muuttaa oletetuiksi vedenläpäisykyvyiksi Hooghoudtin yhtälöllä (kaava 1, osio 2.2.) (Taulukko 4). (Taulukossa on oletettu sama vedenläpäisevyys ojan ylä- ja alapuolisille maille ja oletettu, että mahdollinen läpäisemätön kerros on hyvin syvällä ojasyvyyden alapuolella.)

Taulukon tietojen perusteella etenkin savi-, hiesu- ja hiuemailla maalajikohtaiset vedenläpäisykyvyt vaihtelevat hyvin laajasti verrattuna ojitusvälin arvoihin. Etenkin savimailla rakenne määrittää vedenjohtavuuden siten, että tarvittava ojaväli on heikkorakenteisella maalla 1,5 metriä ja rakenteeltaan erinomaisella maalla 65 m (ts. ojan viljely). Jos maan vedenläpäisykyky poikkeaa merkittävästi ojitussuunnittelun oletuksista, ojituksella ei päästä mitoitusvirtaamiin.

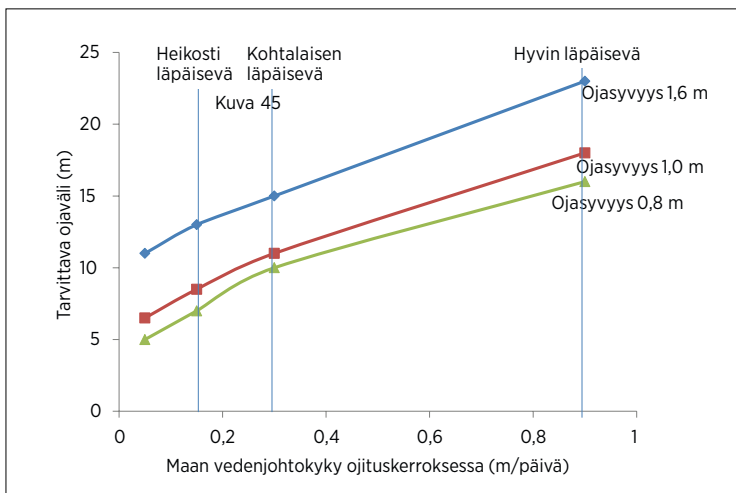
Jos vedenläpäisykyky tiedetään, sen perusteella voidaan arvioida tarvittavaa ojaväliä (Kuva

45). Hyvin läpäisevillä mailla riittää harvakseltaan sijoitetut ojat melko syvällä. Heikosti läpäisevillä pellolla tarvitaan tiheään sijoitetut ojat ja ne voivat olla matalalla, sillä vesi liikkuu tiiviissä maassa hitaasti sivusuuntaan. Lohkokohtaista tarkastelua varten vedenläpäisykyky pitäisi voida arvioida. Täydennysojituksen tapauksessa vedenläpäisykyky voidaan arvioida mittaamalla laskuaukoista tulevaa vesimäärää (Osio 2.2 Laskuaukosta tuleva vesimäärä) (Oosterbaan ja Nijland 1994). Uusintaojituksen tai uudisojituksen yhteydessä vedenläpäisykyky pitää arvioida muilla menetelmillä.

Perinteinen tapa määrittää pellon vedenläpäisykyky on käyttäen eri syvyyksiin porattuja koereikiä ja mitata joko niiden veden pinnan laskua täyten jälkeen tai niiden täyttymistä tyhjäksi pumppauksen jälkeen (Oosterbaan ja Nijland 1994). Menetelmä on kuitenkin hidas, mikä rajoittaa sen soveltamista isoille alueille. Lisäksi koekuopasta saadaan tietoa pelkästään vedenjohtavuudesta, muttei siihen vaikuttavista tekijöistä (tiivistymät, rakenne). Koereiät kuvaavat veden läpäisykykyä siinä kerroksessa, johon ne on porattu. Jos maa on kerroksellista, tarvitaan useita, eri syvyyksiin sijoitettuja reikiä.

Taulukko 4. Suomessa käytetyt ojavälit (Äijö, 2016) ja niitä vastaavat laskennalliset vedenläpäisykyvyt, maalajin vedenläpäisykyvyn vaihtelu ja maalajikohtaisten arvojen perusteella laskettu ojaväli.

Maalaji	Ojaväliosuus (m)	Laskettu vedenläpäisykyky (m/vrk)	Maalajien vedenläpäisyn vaihtelu (Ritzema 1994) (m/vrk)	Hooghoudtin yhtälön ojaväli (m)
Turvemaat	8-14	0,09-0,2		
Savi-, hiesu- ja hiuemaat	10-14	0,13-0,2	0,002-2	1,5-65
Hietamaat	14-18	0,2-0,3	1-5	40-110
Liejusavet, urpasavet	16-24	0,26-0,47	0,5-2	25-63



Kuva 45. Kuivatusyhtälön perusteella arvioituja ojavälejä erilaisille maille ja läpäisevyyksille. Ojituksen mitoituksessa on käytetty 1 l/s/ha virtaamaa ja 40 cm kuivavaraa ojien puolivälissä.

6.2 KAIVURIKUOPPAMENETELMÄ

Maan rakennetta ja vedenjohtavuutta tulisi arvioida siinä syvyudessa, johon mahdolliset kuivatus-toimenpiteet ulotetaan (0,8–1,6 m) sekä tämän yläpuolella. Arvioinnissa voidaan käyttää erilaisia menetelmiä. Jonkin verran havaintoja saadaan tehtyä ns. koetinkepillä, päästään levitetyllä tangolla, joka työnnetään maahan. Tangon työntöön tarvittava vastus kuvaa maan tiiveyttä, mutta sillä ei saada kuvaa maalajimuutoksista, huokoisuudesta, juurista tai muista vedenläpäisyn tuntomerkeistä. Toinen vaihtoehto on käyttää maakairaa ja ottaa maaprofiilista näytteitä tarkasteltavaksi. Maakairalla voidaan tunnistaa eri kerrosten maalajeja, mutta rakenteen tulkintaa häiritsee se, että kairaus rikkoo maan luontaista rakennetta. Erilaisten ohuiden kerrosten tunnistaminen on vaikeaa. Toisaalta kairaus kuvaa melko pientä osaa maa-alasta.

Maatiloilla tehtävään peltolohkomittakaavaiseen tarkasteluun suurehko maakuoppa on hyvä havainnointiväline. Tarkastelu tehdään noin kahden metrin syvyydestä, kaivinkoneella kaivetusta kuopasta (Kuva 46 ja Kuva 48). Tällä voidaan tunnistaa mahdollisia läpäiseviä kerroksia myös ojitusyvytyden alapuolella. Lisätarkasteluilla voidaan tällöin varmistaa, ovatko kerrokset lähempänä pellon pintaa muissa lohkon osissa. Työturvallisuuden vuoksi kuopan reunaan kaivetaan noin metrin syvyyteen kynnys, josta käsin voidaan tarkastella kuopan syvempiä osia. Kaivuutyön aikana eri maakerrokset läjitetään kuopan reunalle eri kerroksia vastaaviin kasoihin. Kuopat sijoitellaan lohkolle siten, että voidaan tarkastella hyvin ja huonosti kasvavia lohkon osia. Jos lohkolle on monenlaisia maastonmuotoja ja maalajeja, kuoppia kannattaa kaivaa eri maaloille ja eri kaltevuussuhteisiin (Kuva 47).



Kuva 46. Kaivurikuoppatesti Ilmajoen hietamaalla. Maaprofiili on yhteistä hienoa hietaa ja hiesua, mutta noin 25–40 cm syvyudessa on tiivistymä. Kuivatusedellytykset ovat hyvät, mutta kuivatusta voisi nopeuttaa tiivistymän rikkomisella, mikäli maata ei tiivistetä uudelleen. Kuva: Jukka Rajala.



Kuva 47. Kolme kaivurikuoppaa lohjalaisesta harjumaisemasta: vasemmanpuoleinen on hietalohko, jossa on 60 cm syvyydessä tiivis kerros; keskimäinen on 40 m etäisyydellä edellisestä, mutta maalaji on liuskeista hiesua; oikeanpuoleinen on 200 m päässä ja 25 m alempana ja edustaa hiesuista vanhaa järvenpohjaa. Kuvat: Jukka Rajala.



Kuva 48. Kaivurikuoppatesti Loimaan hietasavella. Maaprofiili on tiivistä savea, jossa viljelytoimin ruokamultakerros ja pohjamaan yläosa on murustunutta. Noin 40 cm alaspäin alkaa voimakkaasti kerrostunut savea ja hiesua vuorotellen sisältävä 50 cm paksu kerros. Sen alapuolella alkaa yhtenäinen tiivis harmaa savi. Kuivatusedellytykset ovat huonot, koska maan vedenläpäisykyky on heikko. Kuvat: Jukka Rajala.

Kuopasta tarkastellaan eri indikaattoreita, jotka pisteytetään. Pistemäärien mukaan eri maakerrokset jaotellaan vedenläpäisyluokkiin (Taulukko 5). Juuriston syvyys ja murustuminen kuvaa hyvin sitä, mihin saakka pellossa on hyviä kasvuoloja. Juuriston kasvu toimii myös hyvänä indikaattorina tiivistymisestä. Jos maassa näkyy punertavia rautasaostumia, ne kertovat siitä, että kerroksessa vuorottelevat hapettomat ja hapelliset olosuhteet eli veden pinta vaihtelee syvyydessä. Selvän siniset sävyt kertovat hapettomasta tilasta.

Kuivatuksen kannalta ojat kannattaa sijoittaa mahdollisimman hyvin vettä läpäisevään kerrokseen. Juuret, lieron käytävät ja tiivistymät vaikuttavat veden läpäisyyn. Veden tihkuminen kuoppaan on myös selvä merkki siitä, että vesi liikkuu kyseisessä kerroksessa. Jos kuoppaan tihkuu vettä pellon ylälaidassa, niskaoja ei ole riittävän syvä katkaistaan pellon ulkopuolisten vesien pääsyä pellolle.

Kuoppatestistä voi myös haarukoida maalajia. Kostutettua maata muovaillaan kädessä, kunnes se on rakenteeton pallo. Sen jälkeen maata työnnetään peukalon ja etusormen välissä ohueksi 2–4 mm nauhaksi ja katsotaan, missä vaiheessa nauha katkeaa. Jos nauha on yli 50 mm, maa on savinen ja sen kuivatusedellytykset ovat heikot. Alle 25 mm pituinen nauha kielii hietamaasta, jossa veden läpäisykyky on suuri. Tässä välissä (25–50 mm) maalaji on hiesu- tai hieumaa. Hiesuilla rakenne on herkkä luhistumaan ja ne tahrivat helposti käsiä.

Maalajit voivat vaihdella kerroksittain. Yleensä savisuus lisääntyy syvyyden myötä, mutta pellostä voi löytyä savisempia kerroksia myös heti ruokamultakerroksen alapuolelta. Joissain tapauksissa pellossa voi olla hietakerros savikerroksen alla tai vuorottelevia savi- ja hiesukerroksia (Kuva 49 ja Kuva 50).

42 KUIVATUS KUNTOON PELTOLOHKO KERRALLAAN
TUOMAS J. MATTILA, JUKKA RAJALA JA HEIKKI AJOSEN PÄÄ

Taulukko 5. Aistinvaraisen maaprofiilin tarkastelun (*visual drainage assessment* VDA) avulla voidaan arvioida eri maakerrosten vedenläpäisykyky.

Lohko:	Maan kerrokset					
Kuoppa nro:	1	2	3	4	Painokerroin	Esim.
Syvyys (cm)	0 - 30	30-60	60-			40-60 cm
Veden tihkuminen?					10	1 x 10
Tiivistymä?					-10	
Maalaji ei savea?					4	
Huokoisuus (hyvä = xx, kohtalainen = x, huono = tyhjä)					4	2 x 4
Koostumus (ei-tahmea, ei muovailtava = xx, tahmea tai muovailtava = x, tahmea ja muovailtava = tyhjä)					1	2 x 1
Kivisyys, kiviä yli 15 %?					1	
Juuria kerroksessa?					1	1 x 1
Yhteispisteet						= 21
alle 5 = heikosti läpäisevä, 5-10 = kohtalaisesti läpäisevä, yli 10 hyvin läpäisevä						



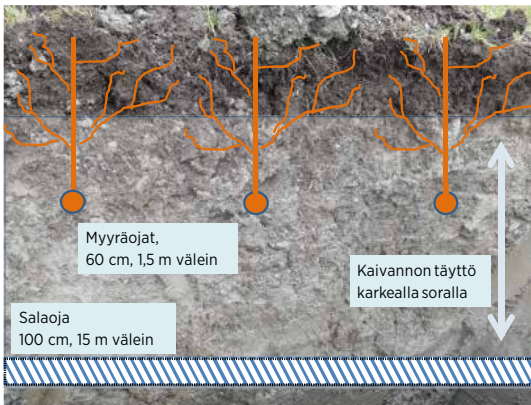
Kuva 49. Voimakkaasti kerrostunut hiesumaa Lohjalla. Vedenläpäisykyky on riippuvainen halkeamista ja juurten tekemistä reiistä. Kumpiakin löytyi erittäin vähän. Kuva: Jukka Rajala.



Kuva 50. Kaksi heikosti kuivuvaa maaprofiilia: vasemmalla savinen hiesumaa on tiivistä. Oikealla hiesusavimaan yläosa on hyvä rakenteinen, mutta 50-60 cm syvyydessä olevat hiesukerrokset estävät kuivumisen. Kuvat: Jukka Rajala.

Periaatteessa kuivatusjärjestelmän valinta kaivurikuoppamenetelmän perusteella on yksinkertaista: kuivatus tehdään siinä kerroksessa, joka on helpoin kuivattaa. Vedenläpäisy luokat vastaavat karkeasti erilaisia vedenläpäisy nopeuksia (heikko = 0,15 m/vrk, kohtalainen = 0,3 m/vrk, hyvä = 0,9 m/vrk). Jos maaprofiilista löytyy läpäisevä kerros kohtalaisen syvältä (1,0–1,6 m), oja kannattaa sijoittaa tähän kerrokseen, jolloin ojaväli voi olla harva. Jos valtaojan syvyys on tähän nähden liian matala, salaoja voidaan tuoda syvällä pellon reunaan saakka ja nostaa kaivolla valtaojan tasolle. Ojan yläpuo-

lella olevat mahdollisesti tiiviit kerrokset rikotaan kuohkeutuksella. Jos syvemmällä ei ole läpäiseviä kerroksia, oja kannattaa sijoittaa melko matalaan (0,8–1,0 m) ja kytkeä oja läpäisevämpään pinta-maahan soran, hakkeen tai muun läpäisevän materiaalin avulla (Kuva 53). Joissain tapauksissa kuivatukselta on tarpeen tehostaa myyräoijituksella (Kuva 51 ja Kuva 55) tai syväkuohkeutuksella. Myyräoijitus on toistettava savimailla 2–6 vuoden välein, mutta usein hyvän kuivatuksen hyöty on suurempi kuin myyräoijituksen kustannus.



Kuva 51. Loimaan savimaa. Maaprofiili on hyvin savinen ja huokosia on lähinnä maan pintaosissa. Vanhan ojaoston kuivatusteho ei ole riittävä. Riittävään kuivatustehoon tarvitaan tiheää myyräoijitusta yhdistettynä syvemmälle sijoitettuihin, runsaasti sorastettuihin salaojiin. Valokuvat: Jukka Rajala. Piirros: Tuomas Mattila.



Kuva 52. Salaojakartta, jossa vanhojen imuojien väliin on tehty soralla täytetyt ojat ja merkitty myyräoijituksen ajolinjojen suunta. Kuva: Google Earth, piirros: Tuomas Mattila.

Myyräojitus onnistuu varmemmin, jos siinä noudatetaan joitain hyväksi todettuja käytäntöjä (Hill ym. 2018):

- myyräojien välinen etäisyys on 1–3 metriä, työsyvyys on sellainen, että kuula kulkee savikerroksessa (väh. 30 % savea)
- työsyvyys on noin 50–60 cm ja kuulan koko on noin 8–10 cm (työsyvyys on 7 x kuulan koko)
- työskentely tehdään, kun pintakerros on kuiva ja halkeilee muokkauksen seurauksena, mutta kerros, jossa kuula kulkee, on muovautuva (myyräojituksen voi joutua tekemään vaiheittain, jotta pelto kuivuu vähitellen)
- ajo tehdään ylämäkeen, jotta ei vedetä maainesta tukkimaan onteloa, maksimipituus on noin 50 metriä, hyvä kulma nousulle 0,4–4 % (tavoite 3 %) (Kuva 54)
- ajo aloitetaan joko reunaojasta (huono vaihtoehto, Kuva 55) tai erikseen ruokamultakerroksen pohjaan saakka täytetystä salaojasta
- myyräoja uusitaan 2–6 vuoden välein

- luhistuvilla mailla (savea alle 30 %) soratäyttöiset myyräojat ovat toimiva ratkaisu
- myyräojitus toimii parhaiten, kun salaojat on täytetty hyvin vettä läpäisevällä materiaalilla vähintään myyräojien tasolle.

Vanhoilla, heikosti sorastetuilla ojastoilla voi olla hyvä rikkoa tiiliputki, korvata se muoviputkella ja tehdä sorasilmä, johon myyräojavedot johdetaan (Kuva 30).

Myyräoja-auran viillosta salaojien etsintä piikillä painellen on myös huomattavasti helpompaa kuin maan pinnalta.

Ojien täyttö soralla vaatii paljon soraa. Soran menekkiin vaikuttaa ratkaisevasti ojasyvyys, kaivannon leveys sekä täyttösyvyys. Tätä on havainnollistettu oheisella laskelmalla (Taulukko 6). Kapean ja matalan salaojan täyttöön tarvitaan soraa vain noin puolet siitä, mitä syvän ja leveän ojan täyttöön. Imuojien leveydeksi 50 mm putkikoolla riittäisi hyvin myös 12 cm ojaleveys, joka säästäisi edelleen täyttömateriaalin tarvetta.



Kuva 53. Soralla ruokamultakerroksen alaosaan asti täytetty salaoja kuivattaa tiiviin savimaan hyvin sateisinakin kausina. Harmaanruskean yhtenäisen saven vedenläpäisykyky on erittäin heikko. Kuva: Jukka Rajala.



Kuva 54. Myyräauralla tehtävät vedot olisi syytä tehdä noin 3 % pituuskaltevuuteen. Sopivan kaltevuuden määrittämiseen yksinkertainen taskuvaaituskone on näppärä apuväline. Kuva: Tuomas Mattila.



Kuva 55. Myyräauralla veto aloitetaan reunaojasta tai sorasilmästä ja jatketaan loivasti ylärinteeseen. Kuva: Tuomas Mattila.

Taulukko 6. Soran menekki erilaisilla täyttövaihtoehdoilla (m³/100 m). Prosenttiosuudet ovat lisämääriä verrattuna kustannustehokkaimpaan vaihtoehtoon (17 cm kaivanto, matalaan, täyttö 40 cm maan pinnasta). Täytettäessä 40 cm syvyyteen maan pinnasta tarvitaan soraa lisäksi sorasilmäkkeisiin.

	Täyttö 40 cm maan pinnasta		Täyttö 20 cm maan pinnasta	
	Kaivannon leveys 17 cm	Kaivannon leveys 22 cm	Kaivannon leveys 17 cm	Kaivannon leveys 22 cm
Ojasyvyys 85 cm	7,7	9,9 (+29 %)	11,1 (+44 %)	14,3 (+86 %)
Ojasyvyys 95 cm	9,4 (+22 %)	12,1 (+57 %)	12,8 (+66 %)	16,5 (+114 %)

7 LOHKOKOHTAISIA ESIMERKKEJÄ KUIVATUKSEN HUOLLOSTA

7.1 KOELOHKO HY: SAVIMAA

7.1.1 LOHKON TAUSTA JA LÄHTÖTILANNE

OSMO-hankkeen tilakokeissa tutkittava Hy-lohko on tasainen savimaan lohko, joka on salaojitettu 1960-luvun puolivälissä 18 m imuojavälillä. Ensimmäiset havainnot lohkolta märkään aikaan marraskuulta 2015 paljastivat pellon huonon kuivatustilan. Maan pinnalla oli vettä, vettä oli kertynyt mataliin painanteisiin. Lapiolla kaivettuihin kuoppiin kertyi heti vettä (Kuva 56).

Lohkolla oli viljelty pitkään kevätiljoja ja kevätrapsia suorakylvönä. Mahdollinen muokkaus oli tehty lautasmuokkarilla. Ruokamultakerros oli hyvin tiivis ylintä 5-7 cm kerrosta lukuunottamatta. Pohjamaan yläosa oli tiivis. Pohjamaa oli tiivistä myös syvemmältä. Juurten kasvu pohjamaahan oli satunnaista, hierokanavia ei löytynyt. Lohkolla maan vedenläpäisykyky oli erittäin heikko. Reuna-ajat olivat perkaamattomina matalia ja varsinkin lohkon yläpuolinen niskaaja oli matala.

Maan rakenteen ja vesitalouden parantamiseksi viljelijä tasasi lohkoa omatoimisesti keväällä 2016. Reunaajat perattiin (Kuva 57). Lohkolla viljeltiin ruisvirna-italianraiheinävaltaista maankunnostusnurmea, joka niitettiin kahdesti. Toisen niiton

jälkeen heinäkuun lopulla lohkolle levitettiin 4 t/ha kipsiä kalsium-magnesium-suhteen tasapainottamiseksi. Lohko syväkuohkeutettiin jankkurilla 30 cm syvyyteen. Syyskuussa lohkolle kylvettiin syysvehnä elävän kasvipeitteisyyden lisäämiseksi. Muokkaus tehtiin kultivaattorilla lautasmuokkarin asemesta. Tavoitteena muokkauksella oli saada maahan luontaisia halkeamia.

Koska lohkon yläosa ja yläpuolen lohkon alaosa olivat edelleen erittäin märkiä, keväällä 2017 haluttiin varmistaa laskuaukkojen toimivuus. Yläpuolen lohkon kokooja-ojan piti suunnitelman mukaan yhdistyä alapuolen lohkon kokoojaan (Kuva 60). Kyseistä yhdysputkea ei löytynyt (Kuva 58).

Yläpuolen ojaaston laskuaukko löytyi lohkon sivusta tien toiselta puolelta 40 cm ojan pohjaa syvemmältä toimimattomana (Kuva 57). Tämä reunaaja perattiin laskuajasyvyyteen. Laskuaukon avaamisen jälkeen yläpuolen lohko kuivui nopeasti kylvökuntoon.

Lohkolla maan rakenne parani huomattavasti vuosien 2016 ja 2017 korjaavien toimien ansiosta.

Maataparantavilla kasveilla, syväkuohkeutuksella ja kipsillä saatiin parannettua ruokamultakerroksen rakennetta. Syväkuohkeutus 30 cm syvyyteen paransi myös pohjamaan yläosan rakennetta (Kuva 59).



Kuva 56. Hy-lohkolle maa läpäisi hyvin heikosti vettä ja maa tiivistynyttä. Kuvat: Jukka Rajala 26.11.2015.



Kuva 57. HY-koelohkon reunaojat perattiin. Kuvassa lohkojen välinen reunaoja eli niskaoja peräksien jälkeen. Kuva: Jukka Rajala 27.5.2017.



Kuva 58. Lohkojen välistä yhdyskokoojaa etsimässä. Sitä ei löytynyt suunnitelmaan merkitystä kohdasta. Yläpuolen lohkon laskuaukko löytyi tukkeutuneena lohkon sivuojasta 40 cm ojapohjaa syvemmältä. Kuvat: Jukka Rajala 19.4.2017.



Kuva 59. Maan rakenne parani huomattavasti korjaavien toimien ansiosta (kuva vasemmalla) verrattuna käsittelemättömään kaistaan (kuva oikealla). Kuvat: Jukka Rajala 4.7.2017.

7.1.2 TOIMENPITEITÄ KUIVATUSTILAN SELVITTÄMISEKSI

Lohkon kuivatustilan puutteiden selvittämisen ensimmäisessä vaiheessa salaojakartta sijoitettiin satelliittikuvan päälle (Kuva 60). Sitten etsittiin laskuaukot. Salaojakartan mukaisesti laskuaukko oli hyvin esillä kartan osoittamassa paikassa kuvan vasemmassa reunassa. Yläpuolen lohkon (kuvassa oikealla) kokooja ei yhdistynyt alapuolen kokoojaan. Yläpuolen lohkolle oli suunnitelmasta poiketen tehty laskuaukko lohkon sivulle ja laskuaukko löytyi etsimisen jälkeen kyseisen lohkon reunaosasta 40 cm ojapohjaa syvemmmältä, koska tätä ojaa ei oltu perattu valtaojasyvyyteen (Kuva 58).

Lohkon kuivatustilaa seurattiin syksyllä 2017 ja keväällä 2018. Lohkolla maa oli vettyneenä syksystä 2017 kevääseen 2018. Pohjavesi oli ruokamultakerroksessa ja maan pinnalla kasvoi jopa levää. Maa läpäisi hyvin huonosti vettä (Kuva 61).

Salaojien kunto tarkistettiin keväällä 2018 kaivamalla salaojia esiin ja huuhtelemalla kokooja ja osa imuista. Tukoksia ei löytynyt ja putket olivat puhtaita (Kuva 62). Salaojat olivat kunnossa. Tällöin myös varmistui, että ojitusta ei ollut toteutettu kartan mukaisesti, sillä huuhteluletku pysähtyi kokoojan päähän ennen karttaan piirrettyä kokoojan loppumista.



Kuva 60.

Salaojakartta sijoitettiin satelliittikuvan päälle. Kuva: Google Earth, Salaojakartan sijoittaminen kuvaan: Tuomas Mattila.



Kuva 61.

Maa oli erittäin märkää syksyllä 2017 ja keväällä 2018. Kuivatus lohkoilla ei toimi erittäin alhaisen vedenläpäisykyvyn takia. Maaprofiili on erittäin tiivistä salaojasyvyyteen. Kuvat: Jukka Rajala 26.4.2018.



Kuva 62. Salaojien kunto tarkistettiin keväällä 2018. Kokooja ja osa imuista huuhdeltiin – salaojat olivat kunnossa, tukoksia ei löytynyt ja putket olivat puhtaita. Kuvat: jukka Rajala 26.4.2018.

Havaintoja maaprofiilin tiiviydestä ja vedenläpäisykyvystä tehtiin penetrometrillä, koetinkepillä (eli rassilla tai salaojapiikillä), lapiolla kaivetuista kuopista ja isoista kaivurikuopista. Lohkolla maaprofiili oli lähtötilanteessa tiivistä 5 cm pintakerroksesta alaspäin. Rakenteen kunnostustoimien jälkeen halkeileva kerros ulottui 30 cm syvyyteen, mutta useita kuukausia jatkunut märkyys oli heikentänyt jo kertaalleen kunnostetun kerroksen rakennetta. Tätä syvemmällä maa oli erittäin tiivistä, juuria ja lierokanavia ei ollut havaittavissa lainkaan. Vedenläpäisykyky oli siksi erittäin huono (Kuva 63).



Kuva 63. HY-lohkolla maaprofiili oli lähtötilanteessa tiivistä 5 cm pintakerroksesta alaspäin. Kuva: Jukka Rajala 26.4.2018.

7.1.3 MITEN LOHKON KUIVATUS KUNTOON?

Tällä tiiviin savimaan lohkolla nykyinen salaojituksen kuivatusteho ei ole riittävä. Maan rakenteen perusteella arvioituna ja Hoogthoudin yhtälöllä lasketuna kuivatusteho on luokkaa 1,4 mm/vrk, mikä on vain murto-osa 8,6 mm/vrk tavoitteesta (osiot 2.1 ja 2.2), eli tarvitaan tehokkaampi kuivatus. Tavanomaisesti toteutetulla täydennysojituksella lisäämällä toiset imuojat nykyisten väliin kuivatusteho voitaisiin saada nousemaan korkeintaan noin puoleen (4,9 mm/vrk) tavoitteena olevasta mitoitusnormista 8,6 mm/vrk (Kuva 64). Vedenläpäisykyky lohkolla on todennäköisesti kuitenkin laskelmassa käytettyä alempi. Muut kuivatusta parantavat toimet ovat tarpeen, jotta kuivatusteho saadaan tavoitteen mukaiseksi (8,6 mm/vrk tai suurempi).

Lohkon kuivatus tulisi saada niin hyväksi, että maa läpäisee myös runsaammat sateet. Heikko vedenläpäisykyky ja siitä seuraava heikko kuivatus on lohkon perusongelma. Syväjuurisia kasveja viljelemällä ja syväkuohkeutuksella ei tätä perusongelmaa voida ratkaista. Tasaisella lohkolla pinnanmuotoilua tulee vielä jatkaa veden kertymisen estämiseksi vähäisiinkin painanteisiin (ks. osio 5).

Lohko on tarpeen täydennysojittaa lisäämällä toiset imuojat olemassa olevien imuojien väliin. Tavanomaisen sorastuksen lisäksi veden pääsyä pellon pintakerroksista salaojiin on tarpeen nopeuttaa täyttämällä salaojat soralla, hakkeella tai vastaavalla hyvin vettä läpäisevällä materiaalilla. Vasta sen jälkeen, kun kuivatus on saatu vähintään tyydyttävälle tasolle, on mahdollista parantaa maan rakennetta kestävämmiin ruokamultakerroksessa ja pohjamaassa.



Kuva 64.

Hooghoudtin yhtälöllä laskettu kuivatusteho. Tavanomainen täydennysojitus lisää kuivatustehon noin puoleen mitoitustasosta 8,6 mm/vrk. Valokuva: Jukka Rajala. Laskelma ja piirros: Tuomas Mattila.

Lohkon kuivatusta parantaisi edelleen edellä kerrotun tehokkaan täydennysojituksen lisäksi 1,5-3 metrin välein tehty myyräojitus 50-60 cm syvyyteen (ks. osio 6.2). Salaojissa soraa tulee olla niin paljon, että myyräaura tavoittaa sorakerrokseen. Vaihtoehtoisesti sorakerros voitaisiin ulottaa jankkurointisyvyyteen, jolloin jankkuroinnilla varmistettaisiin maaprofilin hyvä vedenläpäisevyys. Myyräojitus tai jankkurointi on toistettava muutaman vuoden välein tarpeen mukaan.

7.2 KOELOHKO JU: SAVIMAA

7.2.1 LOHKON TAUSTA JA LÄHTÖTILANNE

Ensimmäiset havainnot Ju-lohkon kasvukunnosta ja sen puutteista tehtiin joulukuun 2015 alussa. Tutkimuslohkolla maa oli märkää ja vettä oli monin paikoin maan pinnallakin (Kuva 65). Lohko oli salaojitettu 1940-luvulla lapiotyönä 18 m imuojavälillä käyttäen runsaasti soraa. Maan rakenne oli hyvin tiivis ylintä 5 cm kerrosta lukuunottamatta. Lohkolla oli viljelty kevätiljoja pitkään suorakylvönä. Mahdollinen muokkaus oli tehty matalaan lautasmuokkarilla.

Märkyymisen aiheuttamat kasvukunnon puutteet näkyvät myös 2015 ilmakuvassa. Kuvaan sijoitettiin salaojakartta (Kuva 66). Selitystä märimpiin kohtiin ei löydy kuvasta. Heikkokasvuisimmat kohdat olivat ilmeisesti painanteita. Kohta, jossa kasvusto oli tuhoutunut imuojan kohdalta, avattiin keväällä 2018 ja varmistettiin, että imuoja ei ole tukossa.

Kaikki laskuaukot löytyivät joen rannasta etsimisen jälkeen. Kateissa olleet laskuaukot etsittiin, ja rikkinäinen laskuaukko korjattiin. Yksi laskuaukko oli sijoitettu suunnitelmasta poikkeavaan kohtaan. Muutosta ei ollut merkitty salaojakarttaan.

Ennen vuoden 2016 kevätkylvöjä lohkon notkelmia tasattiin tilan omana työnä. Maan rakennetta pyrittiin parantamaan viljelemällä tutkittavalla lohkolla vuonna 2016 ruisvirna-italianraiheinä-valkokaipila seoskasvustoa maanparannusnurmena, joka kylvettiin suorakylvönä. Väkilannoitus vaihdettiin pääosin eläinlannoitukseen. Korkeaa magnesiumpitoisuutta pyrittiin alentamaan levittämällä lohkolle kipsiä 4 t/ha. Maa syväkuohkeutettiin jankkurilla 30 cm syvyyteen heinäkuun lopulla maanparannusnurmen toisen niiton ja kipsin levityksen jälkeen. Syyskuussa maanparannusnurmi murskattiin ja lohko muokattiin kultivaattorilla maahan ja kylvettiin syysviljaksi syysvehnää.

Syysvehnää talvehti talvella 2016/2017 hyvin painanteita lukuunottamatta. Notkelmiin kertyi edelleen vettä, koska pinnanmuotoilu ei ollut riittävää. Aluskasviksi kylvettiin puna-apilaa takapyöräviljan kylvökoneella, ja notkelmiin kylvettiin kevätehnää.

Näillä toimenpiteillä maan rakennetta saatiin parannettua merkittävästi kuohkeutussyvyyteen eli 30 cm asti verrattuna käsittelemättömään. Rakenteen paraneminen oli selvästi havaittavissa kesällä 2017 (Kuva 67). Maa oli kuitenkin tiivistä syväkuohkeutussyvyyttä syvemmillä. Syksyllä 2017 ja talvikaudella 2018 maa oli kuitenkin erittäin märkää.

50 KUIVATUS KUNTOON PELTOLOHKO KERRALLAAN
TUOMAS J. MATTILA, JUKKA RAJALA JA HEIKKI AJOSEN PÄÄ



Kuva 65. Ju-lohko oli joulukuun alussa 2015 hyvin märkä. Rakenne oli tiivis ylintä 5 cm kerrosta lukuunottamatta ja vedenläpäisykyky riittämätön. Kuvat: Jukka Rajala 2.12.2015.



Kuva 66. Satelliittikuvassa näkyvät märimmät kohdat vaaleampina, huonokasvuisimpina kohtina. Ilmakuvaan sijoitettiin salaojakartta, johon on tehty salaojien huuhtelusuunnitelma. Kuva: Google Earth, salaojakartan sijoittaminen kuvaan: Tuomas Mattila.



Kuva 67. Maan rakenne kunnostetulla (vasen kuva) ja käsittelemättömällä loholla (oikea kuva) kunnostustoimenpiteiden jälkeen. Pintatiivistymä (vasen kuva) johtuu aluskasvin kylvöstä aikaisin keväällä takapyöräviljankylvökoneella liian kostealla maalla. Kuvat: Jukka Rajala 3.7.2017.

7.2.2 TOIMENPITEITÄ KUIVATUSTILAN SELVITTÄMISEKSI

Salaojien kunto ja toimivuus varmistettiin kaivamalla salaojia esiin ja huuhtelemalla salaojaputkia. Salaojakartalle tehtiin ensin huuhtelusuunnitelma (Kuva 66). Heti roudan sulamisen jälkeen huhtikuussa 2018 salaojat etsittiin, merkittiin ja kaivettiin kaivurilla esiin. Kokoojat sekä huonoimman kuivatuksen alueen imuojia huuhdeltiin huhtikuun lopussa.

Työ eteni siten, että huuhtelusuunnitelman perusteella ensiksi etsittiin lohkolta kokoojaojat, ja sen jälkeen huuhdeltaviksi valitut imuojat. Etsinnässä oli merkittävä apu, kun kuva huuhtelusuunnitelmasta sijoitettiin älypuhelimien ja paikannettiin GPS:llä (Kuva 25, osio 4.2.). Löydetyt ojalinjat merkittiin sähköaitatolpin. Kokoojat ja imuojat kaivettiin kaivinkoneella suunnitelluilta kohdilta esiin (Kuva 68).



Kuva 68. Salaojat kaivettiin esiin telakaivinkoneella. 1940-luvun ojituksessa oli käytetty runsaasti soraa, joka oli edelleen kirkasta. Kuvat: Jukka Rajala 26.4.2018.

Kokoojat huuhdeltiin automaattisyytöllä varustetulla huuhtelulaitteella. Imuojat olivat liian pieniä (40 mm halkaisija) kyseillä koneella huuhdeltaviksi. Imuojat huuhdeltiin pienemmällä, ohuemmalla putkella varustetulla huuhtelulaitteella, jossa huuhteluletku työnnetään käsin putkeen (Kuva 69). Huuhtelupaine kummankin laitteen pumpulla oli 50 bar. Alhaisella huuhtelupaineella pyrittiin estämään hiekan päätymistä putken sisään saumakohdista (ks. osio 4.3). Huuhteluletkua saatiin menemään kokoojajajaan automaattisyytöllä 200-270 m, 40 mm tiiliputki-imuoihin käsin työntäen 60-80 m.

Salaojien kunto ja toimivuus tarkastettiin kaimamalla putkia esille. 1940-luvun ojituksessa oli käytetty runsaasti soraa, joka oli edelleen kirkasta, koska saviainesta ei ollut huuhtoutunut sorakerrokseen (Kuva 68). Salaojaputket olivat puhtaat liejusa-

ta (Kuva 70). Ruostetta ei näkynyt missään. Yhdestä kokoojasta löytyi hieman kuolleita juuria, mutta tukoksia ei löytynyt. Tiiliputkien liitokset olivat hyvin tiiviitä, joka saattaa hidastaa liaksi veden pääsyä salaojiin. Salaojaston todettiin olevan kunnossa.

Huuhtelua varten salaojat jouduttiin katkaisemaan nostamalla kolme tiiliputkea pois paikoiltaan. Huuhtelun jälkeen salaojat paikattiin muoviputkella (katso kohta 4.4. putken paikkaus). Samalla kohdat sorastettiin runsaasti.

Havaintoja maaprofilin tiiviyydestä ja vedenläpäisykyvystä tehtiin koetinkepillä (rassilla, salaojapiikillä), penetrometrillä, lapiolla kaivetuista kuopista ja isoista kaivurikuopista. Märkään aikaan kuivavaran korkeuden seuranta antoi arvokasta tietoa maan vedenläpäisykyvystä (Kuva 71). Keväällä 2018 lohko oli yhtä märkä kuin syksyllä 2015.



Kuva 69. Kokoojat huuhdeltiin automaattisyytöllä varustetulla huuhtelulaitteella (S&S 100 Professional, Farmworks Oy). Pienet 40 mm imuojat huuhdeltiin pienellä putkella varustetulla huuhtelukoneella (Landy Drain Jetter) työntämällä huuhteluletku käsin salaojaputkeen. Kuvat: Jukka Rajala 26.4.2018.



Kuva 70. Salaojaputket olivat puhtaat liejusta. Ruosteesta ei näkynyt mitään merkkiä (kuva vasemmalla). Yhdestä kokoojasta löytyi hieman kuolleita juuria (kuva oikealla). Kuvat: Jukka Rajala 26.4.2018.



Kuva 71. Syksyllä 2017 ja keväällä 2018 lohko oli erittäin märkä myös suoraan imuojan päältä. Lohkolla maan vedenläpäisykyky oli huono. Kuvat: Jukka Rajala 26.4.2018.

7.2.3 MITEN LOHKON KUIVATUS KUNTOON?

Maaprofiili tutkittavalla lohkoilla on tiivistä savea. Ruokamultakerros 5 cm alaspäin ja pohjamaan yläosa 50 cm ylöspäin olivat kaikkein tiiviimpiä tutkimuksen alussa. Kunnostustoimien ansiosta rakennetta saatiin parannettua 30 cm syvyyteen asti (Kuva 72).

Lohkon kuivatus on tarpeen saada niin hyväksi, että maa läpäisee myös runsaammat sateet. Huono vedenläpäisykyky on lohkon heikon kuivatuksen, huonon rakenteen ja huonon kasvukunnon perussy.

Vasta sen jälkeen, kun kuivatus on saatu vähintään tyydyttävälle tasolle, on mahdollista parantaa maan rakennetta ja edelleen kasvukuntoa kestävämmän ruokamultakerroksessa ja pohjamaassa.

Lohkon pinnanmuotoilulla on tarpeen estää vesien kertyminen laajemmalla alueella pienelle alalle (ks. osio 5). Notkelmissa maan vedenläpäisykyvyn pitäisi pystyä johtamaan salaojiin moninkertainen määrä vettä verrattuna normaaliin sadantaan. Notkelmien täyttämisen vaihtoehtoja on vesivakojen ja laajempien painanneojien käyttö, sekä veden virtailun ohjailu esimerkiksi kultivointi- tai jankkurointisuunnan valinnalla (Kuva 33 ja osio 5.4). Jos veden kertymistä ei voida kokonaan estää, on välttämätöntä varmistaa veden nopea imeytyminen salaojiin riittävän suurilla soratäyttöisillä alueilla. Tällöin puutteeksi jää se, että maan ollessa roudassa vesi ei pääse kuitenkaan imeytymään salaojiin. Seurauksena on jääpolte, joka hävittää talvehtivista kasveista herkemmat, kuten syysviljat, syysöljykasvit ja monivuotiset nurmipalkokasvit (esim. apila, mailanen) (Kuva 34).



Kuva 72. JU-lohkoilla maaprofiili oli kauttaaltaan tiivistä savea, jossa tiivein kerros on pohjamaan yläosassa 50 cm ylöspäin. Lohko syväkuohkeutettiin 30 cm syvyyteen kesällä 2016, jonka vaikutus näkyy parempirakenteisena kerroksena maaprofiilin yläosassa. Kuva: Jukka Rajala 26.4.2018.

Lohkolla tarvitaan täydennysojitus lisäämällä uudet imuojat nykyisten imuojien väliin. Märimpiin painannekohtiin on syytä lisätä kaksi imuojaa nykyisten salaojien väliin. Veden riittävän nopea pääsy salaojiin varmistetaan täyttämällä salaojakaivanto vettä hyvin läpäisevällä materiaalilla vähintään jankkurointisyvyyteen tai ruokamultakerroksen



Kuva 73. Kuiva kevät 2018 hyödynnettiin täydennysojittamalla lohko. Ojitustöiden jälkeen lohkolle kylvettiin maanparannusnurmi. Kuvat: Jukka Rajala 4.7.2018.

pohjaan asti. Jankkuroinnilla ja syväjuuristen kasvien viljelyllä sekä tarvittaessa myyräojituksella noin 1,5–3 m välein varmistetaan kuivatuksen toimivuus (ks. osio 6.2). Kun maan rakenne saadaan murustumaan ja pysymään kuivana, myyräojituksen uusintaväli voi olla savimaalla hyvin harva.

Koelohko täydennysojitettiin toukokuun lopulla 2018 kevään ollessa kuiva (Kuva 73). Täydennysojituksessa jokaisen salaojan väliin laitettiin uusi imuojia. Märimpiin painannekohtiin laitettiin kaksi imuojaa vanhojen imuojien väliin. Soraa ja sorasilmäkkeitä käytettiin hyvin runsaasti. Märimpiin kohtiin soraa laitettiin ruokamultakerroksen pohjaan asti. Salaojituksen jälkeen lohkolle kylvettiin monivuotinen maanparannusosonurmi. Kuivana kasvukautena 2018 täydennyssalaojituksen vaikutuksista pellon kuivatukseen ei saatu havaintoja.

7.3 KOELOHKO HE: SAVIMAA

7.3.1 LOHKON TAUSTA JA LÄHTÖTILANNE

Tutkittava lohko on raskasta ja luontaisesti tiivistä hiesusavimaata luomusiementuotantoa harjoittavalla tilalla. Osa lohkoista viettää puroon päin. Lohko on salaojitettu tiiliputkella 1970-luvulla harvalla 18 m imuojavälillä ja sorastettu normaalisti.

Marraskuussa 2015 lohko oli erittäin märkä ja kuoppiin kertyi vettä. Maan rakenne oli tiivis sekä ruokamultakerroksessa että pohjamaassa (Kuva 74). Kuivatus oli riittämätön sekä lohkon yläosan tasaisella osalla että puroon viettävällä osalla. Vettä kerääviä notkelmia ei esiintynyt, mutta lohkon toiseen yläkulmaan rajoittuvalla loholla naapurin reuna-osa oli perkaamaton ja osassa ojaa vesi korkealla.

Vuonna 2016 loholla oli tarkoitus kasvaa siemenapilanurmi ja sitä seuraavina vuosina nurminataa siementuotantoon. Peltokortteen runsaan

esiintymisen takia lohkoa kesannottiin kesäkuussa kultivoimalla kolme kertaa ja jokaisella ajokerralla työsyvyyttä syventäen. Lohkolle levitettiin luonnonkipsiä 5 t/ha ja kylvettiin ruisvirna-italianraiheinämaanparannusnurmi. Vuoden 2017 alkukesällä muokkausjakso toistettiin ja kylvettiin peltovirnaa. Lohko jankkuroitiin syksyllä 2017.

7.3.2 TOIMENPITEITÄ LOHKON KUIVATUSTILAN SELVITTÄMISEKSI

Satelliittikuvan päälle sijoitettiin salaojasuunnitelma. Ilmakuvat eivät paljastaneet kuvista havaittavia eroja lohkon kasvustossa ja kuivatuksessa. Salaojen toiminnassa ei tämän perusteella näyttäisi olevan merkittäviä eroja lohkon eri osien välillä. Kasvusto oli lakoutunut lohkon keskellä kulkevan kokoojan sekä itäpuolen kokoojan kohdalla sekä alueella, jossa ojasto 4 loppui. Tämä viittaisi siihen, että näillä alueilla kasvu on ollut voimakkaampaa (Kuva 75).

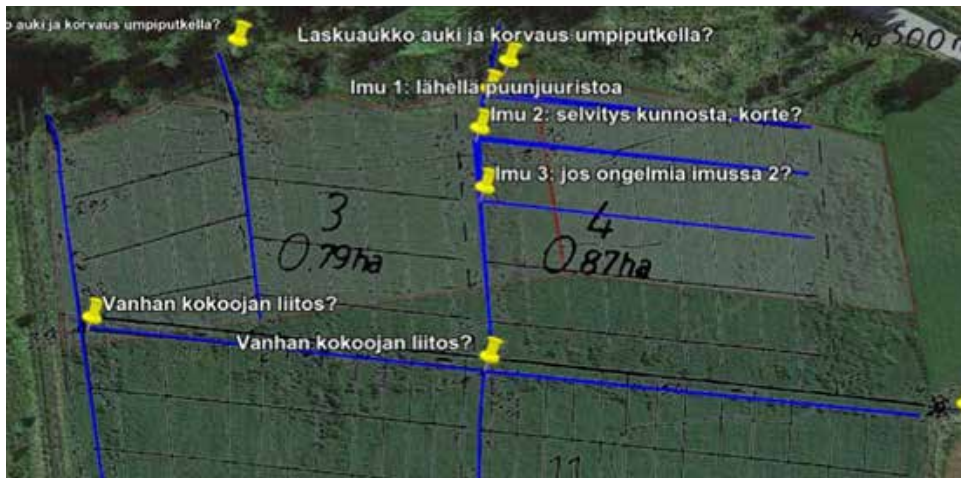
Laskuaukot etsittiin ja valtaojaa perattiin laskuaukkojen läheisyydestä. Laskuaukot olivat esillä ja toimivia. Yksi laskuaukko kuitenkin uusittiin painuman takia.

Salaojen kunto päätettiin tarkistaa huuhtelemalla kokoojat ja muutamia imuojia. Huuhtelua varten kaivettavien kuoppien paikat sijoitettiin kartalle. Salaojat etsittiin ja kuoppien paikat merkittiin lohkolle.

Syvällä sijaitsevien salaojen löytämistä auttoi, kun liikkeelle lähdettiin laskuaukolta ja kokoojan suunta saatiin varmistettua tarkasti. Esiin kaivetut salaojat tarkastettiin ja huuhdeltiin. Yhdestä 80 mm kokoojasta löytyi putkessa painuma ja putkessa oli sillä kohdalla saviliejua noin kolmannes putken halkaisijasta, joka ei kuitenkaan estänyt veden virtausta. Lohkolla kasvoi runsaasti peltokortetta, jonka juuria kasvoi salaojasyvyyyteen asti, ja juuria löydet-



Kuva 74. Marraskuussa koelohko oli hyvin märkä ja maan rakenne tiivis. (Kuvat ylhäällä ja vasemmalla alhaalla). Hyväkasvuisella loholla kuivatus oli riittävä ja rakenne huomattavasti parempi (kuva oikealla alhaalla). Kuvat: Jukka Rajala 26.11.2015.



Kuva 75. Salaojakartta sijoitettiin satelliittikuvan päälle. Havaittavia eroja kuivatuksessa lohkon eri osien välillä ei kuvasta havaittu. Kartalle merkittiin myös huuhtelusuunnitelma. Kuva: Google Earth, salaojakartan sijoittaminen kuvaan: Tuomas Mattila.



Kuva 76. Syvällä sijaitsevien salaojien löytämistä auttoi, kun liikkeelle lähdettiin laskuaukolta ja kokoojan suunta saatiin varmistettua tarkasti (kuva ylhäällä vasemmalla). Huuhtelu tehtiin pieniputkisella huuhtelulaitteella (Landy Drain Jetter) (kuva oikealla ylhäällä). Yhdessä kohtaa salaojassa oli painuma ja putkessa oli liejua (kuva alhaalla vasemmalla). Putkista tuli ulos myös peltokortteen juuria (kuva alhaalla oikealla). Valokuvat: Jukka Rajala 2.5.2018.



Kuva 77. Lohkon alaosassa ja keskellä maaprofiili on tiivistä hiesusavimaata salaojitussyvytyteen (Kuva ylhäällä vasemmalla). Maaprofiilista löytyi vain peltokortteen juuria salaojasyvytyteen asti (Kuva ylhäällä oikealla). Lohkon ylälaidalla maa on rakenteeltaan huokoisempaa ja paremmin vettä läpäisevää (kuva alhaalla vasemmalla). Kuvat: Jukka Rajala 2.5.2018.

tiin myös imuojista (Kuva 76). Salaojitus todettiin toimivaksi, mutta kuivatus lohkolle oli riittämätön. Syynä on savimaan tiiviys ja siitä johtuva riittämätön maan vedenläpäisykyky (vrt. kuva 64). Lohkon savimaa on luontaisesti tiivistä salaojitusvyöhyteen (Kuva 77). Pohjamaasta löytyi vain peltokortteen juuria. Muita juurikanavia tai lierokanavia ei löytynyt. Pohjamaan yläosa on lisäksi tiivistynyt noin 50 cm syvyyteen raskaiden koneiden tiivistämänä (mm. keväinen lietelannan levitys isolla lietevalulla).

7.3.3 MITEN LOHKON KUIVATUS KUNTOON?

Lohkon kuivatus on tarpeen saada niin hyväksi, että maa läpäisee myös runsaammat sateet riittävän nopeasti, jotta vajovesien jääminen ruokamultakerrokseen ja pohjamaan yläosaan voidaan välttää.

Vasta sen jälkeen, kun kuivatus on saatu vähintään tyydyttävälle tasolle, on mahdollista parantaa maan rakennetta ja kasvukuntoa kestävämmän ruokamultakerroksessa ja pohjamaassa.

Huono vedenläpäisykyky on heikon kuivatuksen ja huonon kasvukunnon perussyy. Kuivatuksen parantaminen on tarpeen suunnitella nämä lohkon erityispiirteet huomioon ottaen. Vedenpääsy salaojiin on tarpeen nopeuttaa tavanomaiseen salaojittukseen verrattuna.

Koska lohko on kapea ja viettävä, lohkon alareunaan voitaisiin tehdä myös vain yksi uusi imuojia, joka täytetään soralla vähintään jankkurointisyvyyteen (30 cm maanpinnasta). Tähän ojaan nähden kohtisuoraan tehdään myyräojat 1,5-3 metrin välein, jotka uusitaan muutaman vuoden

välein tarpeen mukaan (ks. osio 6.2). Myyräojien uusimiselta vältytään, mikäli käytetään soratäytöisiä myyräojia. Tätä puoltaa saven laatu, joka on melko helposti luhistuvaa. Vaihtoehtoisesti myyräojat voitaisiin aloittaa suoraa alarinteen purosta. Tämän haittapuolena saattaa olla valtaojan penkan sortumisriskin kasvu.

Kuivatusta lohkolle voidaan parantaa myös lisäämällä uudet imuojat entisten väliin ja sorastamalla vähintään jankkurointisyvyyteen. Jankkuroinnilla ja/tai myyräojituksella nopeutetaan sadevesien pääsyä maan pintakerroksista salaojiin. Ajosuunnan tulee olla ristiin imuojen kanssa (Kuva 52).

7.4 KOELOHKO PA: HIETAMAA

7.4.1 LOHKON TAUSTA JA LÄHTÖTILANNE

Tutkittava Pa-lohko on tasaista hienohietamaata laajaa tärkkelysperunanviljelyä harjoittavalla luomutilalla. Lohko on salaojitettu muoviputkella 1990-luvun alussa 15 m imuojavälillä. Maata on perusmuokattu kyntäen. Viljelykierto on ollut monipuolinen. Lannoitus on perustunut eloperäisiin lannoitteisiin.

Marraskuussa 2015 maa oli tutkimuslohkolle märkää ja lapiolla kaivettuun kuoppaan kertyi muutamassa minuutissa vettä (Kuva 78). Maa oli tiivistä, maan vedenläpäisykyky sekä kuivatus olivat riittämättömiä. Hyväkasvuisella vertailulohkolla maa oli kuivaa ja kuoppa pysyi kuivana, eli vedenläpäisykyky ja kuivatus olivat riittäviä.



Kuva 78.

Märkään aikaan syksyllä huonokuntoisella lohkolle maa oli märkää ja lapiolla kaivettuun kuoppaan kertyi muutamassa minuutissa vettä. Hyväkasvuisella lohkon osalla maa oli kuivaa ja kuoppa pysyi kuivana. Kuvat: Jukka Rajala 19.11.2015.

Lohkolla maa oli tiivistynyt penetrometrillä mitattuna 60 cm syvyyteen. Synä lohkon osittaiseen tiivistymiseen oli pintavesien kertyminen ongelmalueelle epäedullisen pinnanmuodon takia; alareunan penger, heikosti toimiva salaojitus (lietekaivo täynnä liejua) ja matalat reunaajat heikensivät kuivatusta. Itsekulkeva perunannostokone on raskas ja sillä nostetaan rivi kerrallaan, joten ajokertoja tulee runsaasti ja märällä maalla ajettaessa maa tiivistyy syvälle.

Viiljelykierto oli tilalla jo maata hoitava sisältäen 2-vuotisen apilaseosnurmen, rukiin, perunan ja ohran suojaviljana. Käytössä oli eloperäinen lannoitus, ja jankkurointi oli juuri otettu käyttöön. Vuonna 2016 lohkolla viljeltiin ruista ja vuonna 2017 tärkkelysperunaa.

7.4.2 TOIMENPITEITÄ LOHKON KUIVATUSTILAN SELVITTÄMISEKSI

Lohkolla tehtiin kuivatusta tehostavia toimenpiteitä jo ennen kevään 2018 kuivatustilan tarkastelua.

Laskuaukon yhteydessä ollut täyttynyt lietekaivo puhdistettiin liejusta. Reunaajat perattiin. Lohkon alalaidan penger poistettiin ja pellon pinta tasattiin automaattilaidalla (ks. osio 5.2). Perunavaot kuohkeutettiin viimeisen multauksen yhteydessä noin 12 cm syvyydeltä multausauraan kiinnitetyllä kuohkeutusterällä pintavesien imeytymisen varmistamiseksi (ks. osio 5.1).

Edelläkuvatut maan fysikaalisen kasvukunnan kunnostustoimet eivät riittäneet erittäin sateisena kasvukautena 2017 turvaamaan perunan kasvua. Ongelmalohkolla perunan kasvu päättyi jo elokuun puolivälissä märkyyden takia. Maan rakenne oli huono heinäkuussa tehtyjen havaintojen mukaan (Kuva 79). Sen sijaan viereisellä hyväkasvuisella lohkolla peruna kasvoi syyskuun loppupuolelle, ja maan rakenne oli hyvä. Vedenläpäisykyky oli huonokasvuisella lohkolla riittämätön ja kuivatus huono. Hyväkasvuisella lohkolla vedenläpäisykyky ja kuivatus olivat riittäviä.

Pintavesien hallinta on hyvin haasteellista perunanviljelyssä tällä tasaisella lohkolla. Ongelmaloh-



Kuva 79.

Ongelma-lohkolla perunan kasvu päättyi jo elokuun puolivälissä (kuva ylhäällä vasemmalla). Maan rakenne oli huono heinäkuussa (kuva alhaalla vasemmalla) Hyväkasvuisella lohkolla peruna kasvoi syyskuun loppupuolelle, ja maan rakenne oli hyvä (kuvat oikealla). Vedenläpäisykyky oli huonokasvuisella lohkon osalla riittämätön ja hyväkasvuisella riittävä. Kuvat: Jukka Rajala 11.7.2017 ja 19.9.2017.

kolla maa oli liettymisherkkää, jolloin veden mukana kulkevat maahiukkaset tukkivat maan huokokset, ja maa muuttui vettä läpäisemättömäksi. Vettä kertyi perunavakoihin vaonpohjan kuohkeutuksesta huolimatta (Kuva 80).

Perunan nosto tiivistää märän maan syvälle. Märimmissä kohdissa raiteiden pohja oli noin 30 cm vaon pohjaa alempana. Raiteissa maa tiivistyy 30-40 cm raiteiden pohjaa syvemmälle eli 60-70 cm:iin (Kuva 80).

Lohkon salaojakarttaa (kuva 81) ja satelliittikuvaa tarkastelemalla ei saatu lisätietoja lohkon kuivatuksen puutteista. Märät alueet olivat kartalla lohkon oikeassa laidassa eivätkä vastanneet yk-

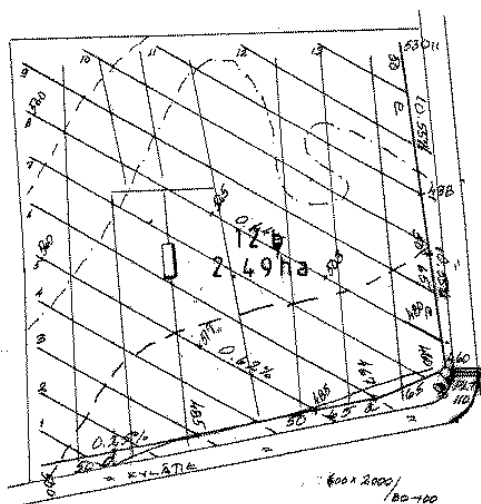
sittäisiä imuja. Tilanne ei korjautunut laskuaukon huollolla ja lietekaivon tyhjennyksellä.

Keväällä 2018 salaojien kunto tarkastettiin ja maan vedenläpäisykykyä arvioitiin kaivinkoneella kaivetusta kuopista. Maalaji sekä hyvä- että huonokasvuisilla lohkon osilla oli sama (hieno hieta), mutta maan rakenteessa, kuivatustilanteessa ja vedenläpäisykyvyssä oli selviä eroja.

Hyväkasvuisella loholla maa oli aistinvaraisesti arvioiden selvästi kuivempaa ja parempirakenteista kuin huonokasvuisella loholla. Ruokamultakerroksen alapuolella maa oli liuskeista, mutta helposti murtuvaa ja huokoista. Juurten jättämiä reikiä oli runsaasti salaojasyvyyteen asti (Kuva 82).



Kuva 80. Perunan nosto tiivistää märän maan syvälle. Märimmissä kohdissa raiteet ovat noin 30 cm syvyisiä. Raiteiden alapuolella maa tiivistyy 30-40 cm syvyyteen raiteen pohjasta. Kuvat: Jukka Rajala 19.9.2017.



Kuva 81.
Tutkimuslohkon salaojakartta, ojasto 12b.

Huonokasvuisella lohkolla vettä oli maan pinnalla, maa oli tiiviimpää, liuskeiset kerrokset tiiviimpiä ja huonommin murtuvia, huokoisuutta ja juurten jättämiä reikiä ei juurikaan ollut havaittavissa. Maa oli myös syvemmältä hyvin märkää – myös lähellä salaojia, ja kuoppaan kertyi nopeasti vettä. Salaojat olivat kunnossa ja sora putken päällä kirkasta. Aistinvaraisen tarkastelun perusteella maan vedenläpäisykyky oli erittäin alhainen (Kuva 83).



Kuva 82. Hyväkasvuisella loholla maa oli liuskeista, mutta helposti murenevaa. Maassa oli salaojasyvyyteen asti reikiä, joita ympäröi ruskeat ruostekerrostumat. Vedenläpäisykyky oli riittävä. Kuvat: Jukka Rajala 9.5.2018.



Kuva 83. Huonokasvuisella loholla maa oli märkää, liuskeista ja tiivistä. Maassa ei ollut juurten jättämiä reikiä. Vedenläpäisykyky oli erittäin huono. Salaojat ovat kuitenkin kunnossa ja sora liettymätöntä. Kuvat: Jukka Rajala 9.5.2018.

7.4.3 MITEN LOHKON KUIVATUS KUNTOON?

Lohkolla kuivatus on tarpeen saada hyvälle tasolle. Hyvä kuivatus on edellytys, että mururakennetta ja koko maaprofiilin rakennetta voidaan parantaa kestävästi. Kuivatuksen haasteena on erittäin huono vedenläpäisykyky. Tämä on lohkon perusongelma ja syy rakenne- ja kuivatusongelmiin. Lisäksi maa on erittäin herkkää liettymään, jolloin maan sisäinen eroosio tukkii isot maahuokoset, joita pitkin vesi pääsisi salaojiin. Hyväkasvuisella vertailulohkolla liettymisongelmaa ei esiintynyt. Tästä voitiin päätellä, että mikäli ruokamultakerros saataisiin pysymään kuivana, tällä voitaisiin ylläpitää maan rakennetta.

Jankkuroinnilla maa voidaan kuohkeuttaa noin 35-40 cm syvyyteen, myyräauralla noin 70 cm syvyyteen, mutta heikon mururakenteen takia kuohkeutettu pohjamaa lietty runsailla sateilla nopeasti

vettä läpäisemättömäksi, mikäli vesi ei pääse kuohkeutetun kerroksen alapuolella valumaan riittävän nopeasti salaojiin. Kuivatuksen parantamisessa oleellista on saada vajovesi valumaan riittävän nopeasti tiiviin pohjamaan läpi, ja maan murukestävyyttä tulisi parantaa liettymisalttiuden vähentämiseksi.

Lohkolla tarvitaan nykyistä tavanomaista salaojitusta huomattavasti tehokkaampi salaojitus, joka varmistaa sadevesien nopean pääsyn salaojiin. Tarvitaan täydennysojitus, jossa uudet imuojat lisätään entisten väliin. Erittäin heikon vedenläpäisykyvyn takia tavanomainen täydennysojitus ja sorastus ei kuitenkaan riitä. Salaojakaivanto on tarpeen täyttää hyvin vettä läpäisevällä materiaalilla kyntökerroksen pohjaan asti. Salaojitusta on myös tarpeen täydentää sora- ja myyräojituksella poikittain salaojiin nähden. Myös jankkurointi ja myyräojitus nopeuttavat veden pääsyä salaojiin.

Pintavesien hyvä hallinta tulee varmistaa riittävällä pinnan muotoilulla. Runsaiden sateiden aikaan pintavesien poispääsy perunavaoista tulee varmistaa.

Päisteeseen lähelle perunavakojen päättymistä olisi hyvä tehdä soralla täytetty leveä salaoja, joka varmistaa vesien pääsyn pois perunavaoista. Maan rakenteen hyvä hoito on tarpeen vedenläpäisyky-

vyn säilyttämiseksi. Tätä voidaan tukea viljelemällä syväjuurisia, maata parantavia kasveja, käyttämällä eloperäistä lannoitusta ja syväkuohkeuttamalla maa tarvittaessa. Maalajin perusteella lohkolla on edellytykset läpäistä vettä erittäin hyvin, mutta tämä vaatii rakenteen ylläpitämistä ja vettymisen sekä liettymisen ennaltaehkäisemistä.

8 YHTEENVETO

Maan rakenne ja kuivatus ovat tiiviisti kytköksissä. Hyvä rakenteinen maa johtaa tehokkaasti vettä ja varmistaa kasvien juuriston hyvän kehityksen. Toisaalta mikäli pelto pääsee vettymään, rakenne heikkenee nopeasti. Hyvä kuivatustilanne on ensisijaisen tärkeää maan kasvukunnon kannalta. Kuivatustilannetta voidaan havainnoida yksinkertaisesti mittaamalla laskuaukoista tulevan vesimäärän ja seuraamalla pohjaveden korkeutta pellolla.

Jos kuivatus ei ole hyvällä tasolla, tarvitaan täydentäviä toimenpiteitä. Täydennys lähtee kuivatuksen perusasioista: riittävästä kuivavarasta, laskuaukkojen toiminnasta ja reunojen perkuusta. Tämän jälkeen on syytä tarkistaa, toimiiko pellolla oleva salaojajärjestelmä ja voidaanko pinnanmuotoilulla tai muokkauksella estää pintavesien kertymistä. Mikäli näiden perusasioiden jälkeenkään pelto ei kuivu riittävästi, tarvitaan lisäojitusta. Lisäojituksen suunnittelun pohjaksi kannattaa arvioida maan rakennetta ja vedenläpäisykykyä sekä kerroksellisuutta, jotta lohkolle ja lohkon eri osille

saadaan suunniteltua oikeaan syvyyteen ja oikealla ojavälillä oleva ojitus. Maan vedenläpäisykyky voi vaihdella laajoissa rajoissa kaikilla maalajeilla. Salaojakaivannon täyttömateriaalin tulee varmistaa sadevesien riittävän nopea pääsy salaojiin. Vedenläpäisykyvyn ollessa huono salaojien täyttöön läpäisevällä materiaalilla tulee kiinnittää erityistä huomiota. Lohkon eri osiin saatetaan tarvita hyvin erilainen salaojitus.

Samat keinot, jotka sopivat kuivatuksen ongelmien tarkasteluun sopivat myös ojituksen toiminnan tarkasteluun. Laskuaukosta tuleva vesimäärä ja pohjaveden korkeus loholla ovat hyviä indikaattoreita sen varmistamiseksi, että toteutetulla ojituksella on päästy haluttuihin tavoitteisiin.

Riittävän perusteellisella lohkon kuivatusominaisuuksien tutkimisella ja yksilöllisellä suunnittelulla saadaan varmin kerralla hyvä kuivatus. Tämä on huomattavasti kustannustehokkaampaa kuin myöhemmin toteuttava täydennysojitus.

9 KIRJALLISUUSLUETTELO

- Brouwer, C., J. Goffeau, J. Plusje, ja M. Heibloem. 1989. Irrigation water management training manual no 2- elements of topographic surveying. FAO Land and water development. <http://www.fao.org/3/r7021e/r7021e00.htm#Contents>.
- Burgy, R. H., ja J. N. Luthin. 1956. "A test of the single-and double-ring types of infiltrometers". Eos, Transactions American Geophysical Union 37 (2): 189–192.
- French, Henry. 1860. Farm Drainage. New York: Saxton, Barker & Co. <https://www.gutenberg.org/files/23435/23435-h/23435-h.htm>.
- Hallakorpi, I.A. 1932. Maatalouden vesirakennus. WSOY, Helsinki.
- Hartge, K.H. ja R. Horn. 2016. Essential Soil Physics: An Introduction to Soil Processes, Functions, Structure and Mechanics. Stuttgart: Schweizerbart Science Publishers.
- Hill, K., R. Hodginson, D. Harris, ja P. Newell. 2018. Field drainage guide. Principles, installations and maintenance. AHDB. <https://ahdb.org.uk/knowledge-library/field-drainage-guide>
- HMI. 2002. Holistic Management Biological Monitoring Manual. Albaquerque, USA: Holistic Management International.
- Hudson, Berman D. 1994. "Soil organic matter and available water capacity". Journal of Soil and Water Conservation 49 (2): 189–194.
- Keller, Thomas. 2004. Soil Compaction and Soil Tillage: Studies in Agricultural Soil Mechanics. Uppsala, Tryck: SLU Service.
- Leuty, T. 2012. "Farm tile drains and tree roots". AGDEX 555. OMAFRA Factsheet. Ontario, Kanada: OMAFRA. <http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/12-055.htm>.
- Mattila, T.J., ja J. Rajala. 2017. Mistä ja miten tunnistaa maan hyvän kasvukunnon? Helsingin yliopisto Ruralia-instituutti. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/229450>.
- Mattila, T.J., ja J. Rajala. 2017 2018. Miten välttää maan haitallisen tiivistymisen maatalousrenkaiden avulla? Helsingin yliopisto Ruralia-instituutti. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/232490>.
- Mattson, E., T. Johansson, J. Wallentin, G. Jakowlew, M. Nyberg, ja A. Noreen. 2019. "Avvattining av jordbruksmark i ett förändrat klimat". 18:19. Jordbruksverket. Tukholma. https://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/ra18_19.html
- Nijland, Henk J., Frank W. Croon, ja Henk P. Ritze- ma. 2005. Subsurface Drainage Practices: Guidelines for the Implementation, Operation and Maintenance of Subsurface Pipe Drainage Systems. ILRI Publication 60. Wageningen: Alterra.
- Oosterbaan, R. J. 1994. "Agricultural drainage criteria". Teoksessa H. P. Ritzema (toim.) Drainage principles and applications, , ss. 635–689. Wageningen: ILRI.
- Oosterbaan, R. J., ja H. J. Nijland. 1994. "12 Determining the Saturated Hydraulic Conductivity". Teoksessa H.P. Ritzema (toim.) Drainage principles and applications, , 1125-. Wageningen: WUR: Ilri.
- Paasonen-Kivekäs, Maija, R. Peltomaa, P. Vakkilainen, ja H. Äijö, toim. 2009. Maan vesi- ja ravinnetalous : Ojitus, kastelu ja ympäristö. Salaojayhdistys ry, Helsinki.
- Quentin, U., ja J.G. Schwerdtle. 2013. Dränagen in der Landwirtschaft: Neuanlage - Pflege - Reparaturen. AgrarPraxis kompakt. Frankfurt am Main: DLG-Verl.
- Ritzema, H. P., toim. 1994. Drainage Principles and Applications. 2. ed. (completely rev.). ILRI Publication 16. Wageningen: ILRI.
- Tuohy, P., J. Humphreys, N. Holden, J O' Loughlin, B. Reidy, ja O. Fenton. 2016. "Visual drainage assessment: A standardised visual soil assessment method for use in land drainage design in Ireland". Irish Journal of Agricultural and Food Research 55 <https://doi.org/10.1515/ijafr-2016-0003>.
- Weil, Ray R., ja Nyle C. Brady. 2016. The Nature and Properties of Soils, 15. painos. Columbus: Pearson.
- Äijö, Helena. 2016. Peltosalaojituksen ohjeet ja laatuvaatimukset. RIL. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

